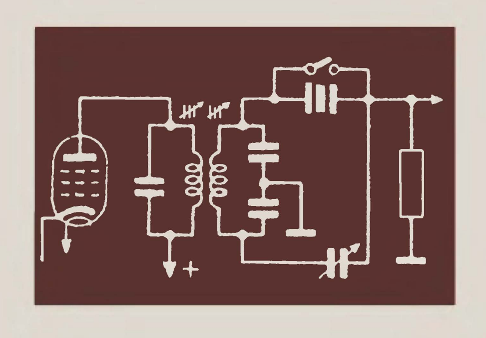
МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

К. А. ШУЛЬГИН

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ КОРОТКОВОЛНОВЫХ ПРИЕМНИКОВ



Госэнергоиздат

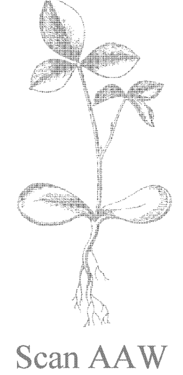
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 171

К. А. ШУЛЬГИН

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ КОРОТКОВОЛНОВЫХ ПРИЕМНИКОВ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1953 ЛЕНИНГРАД

53018

В книге рассматриваются особенности различных узлов коротковолновых приемников, приводятся практические соображения по составлению схемы, выбору деталей, конструктивному выполнению и налаживанию как самых простых, так и сложных современных коротковолновых приемников. Кроме того, в книге приводятся практические схемы и дается краткое описание ряда конструкций для самостоятельного изготовления радиолюбителями.

Книга рассчитана на подготовленного радиолюбителя и может быть использована в качестве пособия при проектировании, выполнении и налаживании как самых простых, так и сложных специальных коротковолновых приемников и коротковолновой части всеволновых приемников.

Редактор *А. Ф. Плонский* Технич. редактор *И. М. Скворцов*

Сдано в набор 11/X 1952 г. Подписано к печати 15.I 1953 г.
Бумага $84 \times 108^1/_{32}$ Бумажных листов $2^1/_4$=7,38 п. л. Уч.-изд. л. 8,2
Т-00222 Тираж 15 000 экз. Заказ 3360
Цена 3 р. 30 к. (номинал по прейскуранту 1952 г.)

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Радио, изобретенное нашим великим соотечественником Александром Степановичем Поповым, является одним из самых замечательных открытий человеческого гения. Это одна из интереснейших областей современной техники, притягивающая к себе сотни тысяч людей самых различных профессий.

«Ни в одной области человеческих знаний, — говорил покойный президент Академии наук СССР акад. С. И. Вавилов,— не было такой массовой общественно-технической самодеятельности, охватывающей людей самых различных возрастов и профессий, как в радиотехнике. Радиолюбительство — это могучее движение, которое привело к участию в радиоэкспериментах тысячи энтузиастов, посвящающих свой досуг технике».

Ни в одной стране радиолюбительское движение не достигло таких широких размеров и не дало таких замечательных практических результатов, как в Советском Союзе. Десятки и сотни тысяч рабочих, колхозников, представителей интеллигенции, учащихся отдают свой досуг радиотехнике. Радиолюбительское движение является подлинной кузницей подготовки радиоспециалистов и могучей силой радиофикации страны.

Многие тысячи ученых, инженеров и техников начинали работу в области радио с занятий в радиолюбительских кружках. Крупнейшие советские радиоспециалисты — лауреаты Сталинской премии А. Л. Минц, И. Х. Невяжский, П. Н. Куксенко, Е. Н. Геништа, З. И. Модель и многие другие вышли из рядов радиолюбителей.

Одной из увлекательнейших областей в радиолюбительской работе являются короткие волны.

Радиолюбители-коротковолновики конструируют приемники и измерительные приборы, строят телефонно-телеграфные передатчики, экспериментируют с антенными устрой-

ствами и т. д. Они не только опытные техники-конструкторы, но еще и спортсмены. На своих радиостанциях, мощность передатчиков которых не превышает нескольких десятков ватт, радиолюбители-коротковолновики устанавливают сверхдальние радиосвязи, перекрывая расстояния в 15—20 тыс. *км*. Участвуя во всесоюзных и международных соревнованиях, советские коротковолновики устанавливают новые всесоюзные достижения, побивая мировые рекорды по радиосвязи, по скорости приема и передачи радиограмм.

Первым советским коротковолновиком был Ф. А. Лбов. Совместно с В. М. Петровым он в январе 1925 г. построил простейший коротковолновый любительский передатчик мощностью 10—15 *вт*, работа которого в ночь с 16 на 17 января 1925 г. была услышана в Мессопотамии — на расстоянии свыше 3 000 *км* от Нижнего Новгорода (ныне г. Горький).

Вскоре вслед за Ф. А. Лбовым к работе на коротких волнах приступили десятки, сотни, а затем и тысячи радиолюбителей. Коротковолновые диапазоны заполнялись позывными советских любительских радиостанций.

Радиолюбители-коротковолновики принимали самое активное участие в общественной жизни нашей страны. В марте 1928 г., впервые в мире, на аэростате, цель полета которого состояла в проверке возможности связи с землей, была установлена любительская коротковолновая радиостанция. В том же году советские коротковолновики обслуживали радиосвязью всесоюзные воздухоплавательные состязания и принимали участие в экспедициях на ледоколах «Красин», «Малыгин», «Персей» по спасению Нобиле. В 1929 г., впервые в мировой истории, коротковолновики организовали радиосвязь отдельных пунктов с центрами на лесозаготовках и лесосплавах и т. д.

В годы Великой Отечественной войны коротковолновики, образцово обслуживая радиосвязью части Советской Армии, внесли немалый вклад в дело разгрома немецко-фашистских захватчиков и японских империалистов.

После окончания Великой Отечественной войны позывные советских любительских радиостанций вновь заполнили коротковолновые диапазоны.

Особенности коротких волн. Если на длинных и средних волнах дальний прием в дневное время, как правило, невозможен, а в вечерние часы сопровождается значительными атмосферными и индустриальными помехами, то на коротких волнах в любое время суток можно услышать большое ко-

личество самых разнообразных, в том числе и очень отдаленных, радиостанций. В этом диапазоне хорошо слышны передачи радиовещательных станций всех стран мира, переговоры далеких экспедиций, телеграммы зимовщиков Арктики, оживленные беседы радиолюбителей-коротковолновиков и т. п. Особенно поражает радиослушателя при приеме передач коротковолновых радиостанций почти полное отсутствие помех. Но наиболее важным преимуществом коротких волн является возможность осуществления весьма дальних радиосвязей при очень ограниченных мощностях передающих устройств. Так, например, радиолюбители-коротковолновики, пользуясь передатчиками мощностью всего лишь в десятки ватт, систематически устанавливают сверхдальние радиосвязи, перекрывая расстояния в 10—20 тыс. *км,* в то время как мощность современных радиовещательных длинноволновых и средневолновых станций, перекрывающих расстояния всего в 2—3 тыс. *км*, доходит до нескольких сотен и даже тысяч киловатт. Благодаря коротким волнам в настоящее время удалось осуществить постоянно действующие линии беспроволочной связи огромнейшей протяженности, позволяющие вести прямые телефонные разговоры между такими отдаленными друг от друга пунктами, как, например, Москва и Владивосток, Ленинград и Хабаровск, Мурманск и Ташкент.

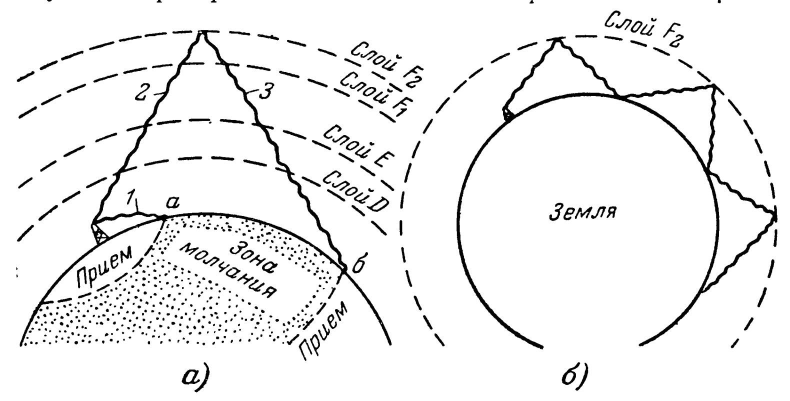
Чем же объясняются эти исключительные свойства коротких волн? Оказывается, причина кроется в особенностях их распространения.

Исследования показали, что на высоте сотен километров над поверхностью земли существует несколько ионизированных слоев воздуха, обладающих большой электропроводимостью и способных отражать обратно на землю радиоволны, попадающие на них под некоторым углом. Чем больше ионная плотность слоя и меньше угол падения, тем короче предельная волна, которая может от него отразиться. Ионизированные области расположены так, что нижележащие слои (слои D и E) имеют меньшую ионную плотность и от них отражаются только более длинные волны; вышележащие слои (слои F_1 и F_2) имеют бо́льшую ионную плотность и отражают более короткие волны. Таким образом, если волна короче предельной для слоя E, то она отразится слоем F_1 или F_2.

Основным отражающим слоем для коротких волн (10—50 *м*) является ионизированный слой F_2, расположенный в зависимости от времени суток, года и интенсивности сол-

нечной деятельности на высоте 240—500 *км* над поверхностью земли. Волны короче 10 *м* ионизированными слоями, как правило, не отражаются и уходят в мировое пространство.

На фиг. 1, *а* наглядно показаны пути распространения коротких волн. Волна *1*, распространяющаяся вдоль поверхности земли (так называемая поверхностная или земная волна) сильно поглощается земной поверхностью и быстро затухает. Пространственная волна *2*, отражаясь от верхних



Фиг. 1. Пути распространения коротких волн.
а — однократное отражение; *б* — многократное отражение.

слоев ионосферы *3* обратно на землю, распространяется как бы прыжком. Именно этим огромным прыжком, при котором энергия радиоволны совершенно не поглощается поверхностью земли, а ионизированными слоями воздуха поглощается сравнительно мало, и объясняется возможность установления исключительных по протяженности радиосвязей при небольших мощностях передающих устройств. Таким образом, на коротких волнах радиосвязи на большие расстояния осуществляются посредством не поверхностных, а отраженных пространственных радиоволн.

Длинные и средние волны, отражаясь от ионизированных слоев *D* и *E*, очень сильно поглощаются ими. Поэтому связь на них в дневные часы осуществляется посредством не пространственных, а поверхностных волн. Однако так как энергия этих радиоволн довольно сильно поглощается также и земной поверхностью, то с увеличением расстояния от передатчика напряженность электромагнитного поля быстро падает, и для перекрытия больших расстояний приходится резко увеличивать мощность передающих устройств. Сте-

пень поглощения радиоволн земной поверхностью с удлинением волны уменьшается. Вследствие этого днем длинноволновые радиостанции слышны значительно дальше, чем средневолновые. В ночное время, когда ионизированные слои D и E исчезают, в распространении средних волн заметную роль начинают играть пространственные волны, и средневолновые радиостанции становятся слышны на большие расстояния. Но все же вследствие довольно сильного поглощения энергии в верхних ионизированных слоях для перекрытия больших расстояний на средних волнах и в ночное время приходится применять значительные мощности.

Предельная дальность распространения пространственной волны при одном отражении составляет 3 500—4 500 *км*. Распространение коротких волн на большие расстояния происходит в результате многократного отражения, как показано на фиг. 1,*б*.

Вследствие быстрого затухания поверхностной волны и значительной изменчивости высоты и степени ионизации слоя F_2 распространение коротких волн отличается некоторыми особенностями, существенно затрудняющими радиосвязь. К этим особенностям следует отнести существование зоны молчания, а также явлений замирания и радиоэхо.

Зона молчания (участок *аб* фиг. 1,*а*) представляет собой пространство между областью, где кончается прием поверхностной волны и начинается прием пространственной. Вполне понятно, что прием в этой зоне практически невозможен. Протяженность зоны молчания зависит от длины рабочей волны радиостанции, времени суток и года.

Явление замирания заключается в том, что слышимость коротковолновых радиостанций во время приема не остается постоянной, а все время меняется, то возрастая, то ослабевая, доходя иногда до полного исчезновения, чтобы через какой-то более или менее продолжительный промежуток времени снова достигнуть своего первоначального значения. Иногда изменение слышимости сопровождается очень сильными искажениями. Причина замираний состоит в том, что к месту приема попадает не один, а несколько отраженных лучей, прошедших разные пути и имеющих различные фазовые сдвиги. Эти лучи, взаимодействуя между собой, создают определенную напряженность поля в месте приема. Например, при совпадении фаз результирующее поле достигает максимума, и слышимость возрастает. Но достаточно небольшого отклонения в состоянии ионосферы, чтобы длина пути одного из лучей изменилась, вызвав изменение его

фазы и ослабление результирующего поля, а следовательно, и понижение слышимости.

Радиоэхо, напоминающее обыкновенное эхо, иногда создает значительные затруднения при телеграфном приеме, особенно в случае применения быстродействующей аппаратуры. Появление его объясняется тем, что вследствие незначительного поглощения коротких волн один и тот же радиосигнал при благоприятных условиях может, обогнув земной шар, попасть в точку приема не один, а два или большее число раз с запозданием на промежуток времени, измеряемый десятками миллисекунд.

Перечисленные выше недостатки вовсе не умаляют тех преимуществ, которыми обладают короткие волны, и могут быть сведены к минимуму путем применения соответствующих приспособлений на приемных радиостанциях.

Особенности коротковолновых приемников. Технические требования, которые ставятся при конструировании того или иного радиоприемника, определяются его назначением, условиями, в которых он должен работать, и экономическими соображениями. Радиослушатель будет удовлетворен приемником в том случае, если последний обеспечит высокое качество воспроизведения принимаемой передачи, возможность приема достаточного количества хорошо слышимых радиостанций, будет удобен в пользовании, устойчив и надежен в работе и иметь красивый внешний вид. Все эти условия одинаково справедливы как для длинноволновых, так и для коротковолновых радиоприемников, поэтому, не останавливаясь подробно на общих вопросах, мы отметим лишь специфические особенности, связанные с наличием в приемнике коротковолнового диапазона.

Прежде всего слушательский приемник не имеет смысла делать только коротковолновым. Такой приемник обязательно должен иметь также средневолновый и длинноволновый диапазоны или по крайней мере кнопочную настройку на несколько хорошо слышимых радиостанций, работающих в этих диапазонах. Выходная мощность, частотная характеристика, чувствительность и избирательность самодельного приемника определяются в основном запросами, возможностями и технической подготовкой радиолюбителя, однако для получения вполне удовлетворительных результатов при приеме коротковолновых радиостанций приемник следует собирать по супергетеродинной схеме. Для устранения влияния замираний и получения устойчивого приема в приемнике должна иметься эффективно работающая система авто-

матической регулировки усиления (АРУ), а для удобства настройки — оптический индикатор настройки.

Особое внимание при проектировании коротковолнового приемника приходится уделять устройству шкалы и верньерному механизму. Дело в том, что если, например, в длинноволновом диапазоне одна радиовещательная станция занимает 4—5 делений шкалы, то в коротковолновом диапазоне на одно деление приходится до 5—8 радиостанций. Это значительно затрудняет настройку и приводит к необходимости применять верньеры с большим замедлением. В последнее время для облегчения настройки и упрощения верньерного механизма используется то обстоятельство, что вся масса коротковолновых радиовещательных станций не разбросана по диапазону, а сосредоточена в нескольких узких его участках. Эти участки электрическим путем «растягиваются» на всю шкалу приемника, что значительно уменьшает плотность настройки и делает шкалу легко читаемой.

Наконец, при конструировании слушательского коротковолнового приемника необходимо серьезное внимание уделить вопросам стабилизации частоты гетеродина.

Прежде чем решить, каким должен быть любительский коротковолновый приемник, предназначенный для радиосвязей, посмотрим, какие требования накладывает специфика работы в любительских диапазонах на качественные показатели приемника.

В настоящее время любительские диапазоны настолько переуплотнены радиостанциями, что даже при растянутых диапазонах на каждом делении шкалы приемника можно услышать десятки различных одновременно работающих радиостанций, создающих друг другу сильнейшие взаимные помехи. Мощность этих радиостанций невелика и обычно не превышает нескольких десятков ватт; удалены они от приемника на самые различные расстояния: от нескольких сот метров и до 15—20 тыс. *км*. Часто к помехам со стороны мешающих радиостанций прибавляются еще атмосферные и индустриальные помехи. Последние особенно велики в крупных городах. И вот, при наличии такого количества всевозможных помех коротковолновик на своем приемнике должен услышать интересующую его, часто очень отдаленную радиостанцию и принять передаваемый ею текст. Поэтому чувствительность и избирательность первоклассных любительских коротковолновых приемников должны быть доведены до предельной величины и, кроме того, должны быть

приняты специальные меры для устранения искажений, возникающих в результате воздействия на приемник близко расположенных передатчиков. По этой же причине прием следует производить на телефонные трубки и громкость сигналов делать небольшой, так как при негромкой слышимости меньше утомляется оператор и лучше используются избирательные свойства нашего уха.

В связи с тем что повышение избирательности и сужение пропускаемой полосы частот приводит к ослаблению мешающего действия индустриальных помех и внутренних шумов приемника, чувствительность современного любительского коротковолнового приемника без особого труда можно довести до 0,5—1 *мкв* при телеграфном приеме и 1—2 *мкв* при приеме телефонных радиостанций.

Наименьшая допустимая ширина полосы пропускания приемника при приеме телеграфных сигналов определяется главным образом скоростью передачи и нестабильностью частот передатчика и гетеродинов приемника. Для удовлетворительного приема на слух достаточно пропустить несущую частоту сигнала и боковые частоты, соответствующие первой и второй гармоникам частоты манипуляции.

При передаче телеграфной азбукой частота первой гармоники манипуляции F_1 в герцах определяется по формуле

$$F_1 = \frac{n}{2,5},$$

где n — число стандартных международных слов, переданных в одну минуту. Максимальная скорость любительского обмена обычно не превышает 30 слов в минуту, что соответствует скорости передачи в 150 знаков в минуту. При такой скорости передачи частота первой гармоники манипуляции оказывается равной 12 *гц*, и следовательно, для удовлетворительного приема полоса пропускания приемника должна быть не уже чем 48 *гц*. Для обеспечения устойчивого приема при отклонениях частот передатчика корреспондента и гетеродинов приемника полосу пропускания следует расширить до 100—200 *гц*. При переходе на прием телефонной передачи полосу пропускания необходимо расширять до 5—6 *кгц*.

Из сказанного можно сделать вывод, что в современном любительском коротковолновом приемнике должна быть предусмотрена возможность плавного или скачкообразного изменения полосы в пределах от 100—200 *гц* до 5—6 *кгц*.

Как уже отмечалось, характерной особенностью приема на коротких волнах является замирание сигналов. Для

борьбы с этим явлением, а также для поддержания постоянного уровня сигнала на выходе приемника и устранения возможных его перегрузок при приеме радиостанций разной мощности широко применяется автоматическая регулировка усиления, которая в радиовещательных приемниках дает прекрасные результаты. Применение АРУ в любительских коротковолновых приемниках во время приема телеграфных сигналов не может быть рекомендовано по той причине, что радиолюбителям часто приходится принимать сигналы далеких маломощных радиостанций на фоне помех со стороны более мощных близко расположенных мешающих радиостанций, различая принимаемую станцию лишь по тону биений. При наличии АРУ в момент нажатия ключа на мешающей радиостанции усиление приемника резко уменьшается, и громкость дальней и без того слабо слышимой радиостанции резко падает. Это значительно затрудняет прием передаваемого ею текста. Еще хуже обстоит дело при поисках радиостанций: при прохождении по диапазону слабые радиостанции, расположенные по частоте близко к более мощным, будут подавлены системой АРУ и не смогут быть услышаны. Объясняется это тем, что при включенной системе АРУ коэффициент усиления приемника после прекращения действия сильного сигнала восстанавливается не сразу, а постепенно.

Поэтому в любительских коротковолновых приемниках, кроме системы АРУ, включаемой только во время приема телефонных радиостанций, желательно иметь ограничитель амплитуды, заменяющий АРУ при приеме телеграфных сигналов и устраняющий мешающее действие импульсных помех от грозовых разрядов, систем зажигания автомашин и т. д. Желательно иметь в приемнике также и помехоподавитель, эффективно действующий при приеме передач телефонных радиостанций.

Наконец, любительский коротковолновый приемник должен обладать исключительно высокой механической прочностью, быть удобным в управлении, иметь легко читаемую шкалу и повышенную устойчивость частоты гетеродина. Частота гетеродина, после 15—20 *мин.* прогрева, в дальнейшем не должна изменяться больше чем на 20—30 *гц* за час работы. Первоначальный уход частоты не должен превышать 2—3 *кгц*.

Естественно, что в полной мере приведенным выше требованиям могут удовлетворять лишь сложные первоклассные любительские коротковолновые приемники. Не каждый

радиолюбитель в состоянии построить подобный приемник. Однако практически неплохие результаты в коротковолновой работе можно получить и с менее сложными приемниками, лишь частично отвечающими поставленным требованиям.

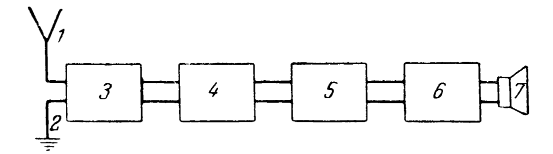
По мере накопления теоретических знаний и практического опыта приемник следует непрерывно совершенствовать, так как успешность работы коротковолновика, его достижения в установлении дальних связей, успехи в различного рода соревнованиях в очень большой степени зависят от качества работы приемной аппаратуры его радиостанции.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИЕМНИКИ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

1. СКЕЛЕТНАЯ СХЕМА ПРИЕМНИКА

В приемниках прямого усиления напряжение высокой частоты от приходящих сигналов усиливается только на той частоте, на которой работает принимаемая радиостанция. Обычно такой приемник имеет входную цепь, одну-две ступени резонансного усиления высокой частоты, сеточный детектор и одну-две ступени усиления низкой частоты. Для повышения чувствительности и избирательности приемника в его детекторной ступени, как правило, устраивается регу-



Фиг. 2. Скелетная схема приемника прямого усиления.

1—антенна; *2*—заземление; *3*—входная цепь; *4*—усилитель высокой частоты; *5*—детекторная ступень; *6*—усилитель низкой частоты; *7*—громкоговоритель.

лируемая положительная обратная связь. Применение положительной обратной связи, кроме того, дает возможность без помощи дополнительных устройств вести прием телеграфных радиостанций, работающих незатухающими колебаниями. Примерная скелетная схема приемника прямого усиления изображена на фиг. 2.

Приемники прямого усиления просты по конструкции и несложны в налаживании. Но такие приемники обладают сравнительно низкой чувствительностью и избирательностью. В них трудно устроить эффективно действующие авторегулировки. Кроме того, при приеме на такие приемни-

ки слабых телеграфных сигналов большие неприятности создают помехи от мощных и близко расположенных радиостанций: их сигналы «захватывают» колебания регенеративной ступени, срывая генерацию и делая прием практически невозможным.

В последующих параграфах настоящей главы подробно рассматриваются работа и конструктивные особенности отдельных частей схемы, а затем и всего приемника прямого усиления в целом. При чтении главы следует иметь в виду, что все сказанное здесь применимо также и к супергетеродинным приемникам, специфические особенности которых будут рассмотрены в следующей главе.

2. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Общие сведения. Для того чтобы приемник обладал избирательными свойствами, в нем применяются колебательные контуры.

Колебательный контур состоит обычно из катушки индуктивности и конденсатора постоянной или переменной емкости. Кроме того, в контур входят ряд дополнительных емкостей, образующихся в самой схеме, к которой он подключен, и активное сопротивление, сосредоточенное в основном в контурной катушке.

Резонансные свойства контура, т. е. его избирательность и даваемое им усиление напряжения, определяются его добротностью Q или затуханием d:

$$Q=\frac{1\,000}{r}\sqrt{\frac{L}{C}}; \quad d=\frac{1}{Q}. \qquad (1)$$

Здесь L — индуктивность, *мкгн*;
r — сопротивление, *ом*;
C — емкость контура, *мкмкф*.

Из приведенных формул можно сделать вывод, что чем меньше активное сопротивление контура (практически, чем больше диаметр провода и лучше изоляционные материалы, из которых выполнены его детали), тем выше его добротность и, следовательно, лучше избирательные и усилительные свойства.

Добротность коротковолновых контуров большей частью бывает равной 100—150, что соответствует затуханию 0,1—0,07, а средневолновых и длинноволновых—80 ÷ 100, что соответствует затуханию 0,12—0,1.

Резонансное сопротивление контура $Z_{рез}$ (в омах) можно подсчитать, пользуясь одной из следующих формул:

$$\left.\begin{aligned} Z_{рез} = 1\,000\,000\frac{L}{C\cdot r};\quad Z_{рез} = 6{,}28f_{рез}\cdot L\cdot Q; \\ Z_{рез} = \frac{6{,}28f_{рез}L}{d}, \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

где L — индуктивность, *мкгн*;
C — емкость, *мкмкф*;
r — активное сопротивление, *ом*;
$f_{рез}$ — резонансная частота, *мггц*.

Эти формулы показывают, что резонансное сопротивление контура тем выше, чем больше его индуктивность и меньше емкость, причем при изменении резонансной частоты емкостью оно возрастает с увеличением $f_{рез}$ и уменьшается с ее понижением.

Резонансная частота контура $f_{рез}$ определяется его параметрами L, C и r. Однако влияние активного сопротивления на резонансную частоту контура незначительно и в расчетные формулы оно, как правило, не вводится. Поэтому

$$f_{рез} = \frac{159}{\sqrt{L\cdot C}}, \quad (3)$$

где $f_{рез}$ — *мггц*; L — *мкгн*; C — *мкмкф*.

Емкость контура. В связи с тем что настройка приемника чаще всего осуществляется изменением емкости контурных конденсаторов, проектирование контура начинают с определения данных всех емкостей, входящих в его схему. Сказанное станет понятным, если вспомнить, что коэффициент перекрытия диапазона конденсатором переменной емкости при неизменной индуктивности контурной катушки зависит только от соотношения между полной максимальной и минимальной емкостями контура, т. е.

$$K_д = \frac{\lambda_{макс}}{\lambda_{мин}} = \frac{f_{макс}}{f_{мин}} = \sqrt{\frac{C_{макс}}{C_{мин}}}. \quad (4)$$

Здесь $K_д$ — коэффициент перекрытия диапазона;
$\lambda_{макс}$ и $\lambda_{мин}$ — соответственно максимальная и минимальная длины волн;

$f_{макс}$ и $f_{мин}$ — максимальная и минимальная частоты;
$C_{макс}$ и $C_{мин}$ — максимальная и минимальная емкости контура.

Таким образом, при изменении емкости контура, например, в 4 раза, коэффициент перекрытия по диапазону окажется равным только двум; при изменении емкости в 9 раз коэффициент перекрытия будет равен трем и т. д.

Полная максимальная емкость контура $C_{макс}$ складывается из максимальной (конечной) емкости конденсатора настройки $C_{кон}$, собственной емкости контурной катушки $C_{кат}$, входной $C_{вх}$ и выходной $C_{вых}$ емкостей лампы, емкости подстроечного конденсатора $C_{под}$ и емкости монтажа $C_{мон}$. Таким образом,

$$C_{макс} = C_{кон} + C_{кат} + C_{вх} + C_{вых} + C_{под} + C_{мон}. \qquad (5)$$

Полная минимальная емкость контура $C_{мин}$ определяется теми же элементами схемы, с той лишь разницей, что здесь вместо максимальной емкости конденсатора настройки учитывается его минимальная (начальная) емкость $C_{нач}$:

$$C_{мин} = C_{нач} + C_{кат} + C_{вх} + C_{вых} + C_{под} + C_{мон}. \qquad (6)$$

Начальную емкость контура и данные конденсатора переменной емкости выбирают в зависимости от ширины диапазона, который необходимо перекрыть без дополнительных переключений. Если перекрываемый диапазон должен быть широким, то начальную емкость контура необходимо свести до минимума путем уменьшения собственной емкости контурной катушки, емкостей монтажа, подстроечного конденсатора и т. д., а конденсатор переменной емкости применить такой, у которого конечная емкость во много раз больше начальной.

Но, как уже упоминалось ранее, перекрытие широкого диапазона частот без переключений значительно затрудняет настройку приемника и заставляет применять сложные верньерные механизмы. Поэтому в коротковолновых приемниках весь диапазон разбивают на 5—6 поддиапазонов В этом случае уже нет необходимости в искусственном уменьшении начальной емкости контура и применении громоздких конденсаторов с большим перекрытием по емкости. Обычно в контурах таких приемников устанавливаются конденса-

торы переменной емкости с максимальной емкостью 100—150 и реже 250 *мкмкф*.

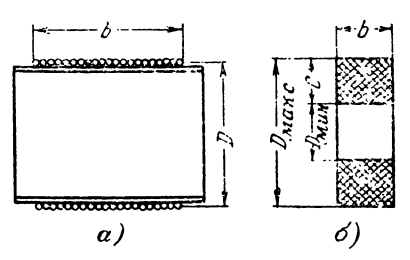
В слушательских всеволновых и любительских коротковолновых приемниках часто путем соответствующего включения конденсатора переменной емкости осуществляется специальное растягивание отдельных участков коротковолновых диапазонов на всю шкалу приемника. О методах растягивания мы расскажем несколько позже.

Контурные катушки. Индуктивность контурной катушки следует подсчитывать для максимальной частоты диапазона $f_{макс}$ с учетом полной начальной емкости контура $C_{мин}$:

$$L = \frac{25\,330}{f^2_{макс} \cdot C_{мин}}. \tag{7}$$

Здесь L — *мкгн*, $f_{макс}$ — *мггц*; $C_{мин}$ — *мкмкф*.

Обычно, если не принято специальных мер к уменьшению $C_{мин}$, то она составляет не менее чем 20—25 *мкмкф*. Вследствие того что заранее предугадать эту емкость практически невозможно, при расчете значением ее задаются, выбирая $C_{мин}$ от 25 *мкмкф* и больше в зависимости от требуемого коэффициента перекрытия по диапазону. В дальнейшем при налаживании приемника выбранное значение $C_{мин}$ точно устанавливается с помощью подстроечного конденсатора. Количество витков w катушки с достаточной для практических целей точностью можно подсчитать, пользуясь следующими формулами:



Фиг. 3. Контурные катушки.
а — однослойная цилиндрическая; *б* — многослойная.

Для однослойной цилиндрической катушки (фиг. 3,*а*), когда длина намотки b больше, чем радиус катушки $D/2$,

$$w = \frac{\sqrt{5L(9D + 20b)}}{D}. \tag{8}$$

Если длина намотки катушки меньше ее радиуса, т. е. $b < D/2$, то более точные результаты получаются при расчете по формуле

$$w = \frac{\sqrt{10L(4D + 11b)}}{D}. \tag{9}$$

Количество витков многослойной катушки (фиг. 3,*б*) может быть подсчитано по формуле

$$w = \frac{\sqrt{12,5L(3D + 9b + 10c)}}{D}, \qquad (10)$$

где $D = \frac{D_{макс} + D_{мин}}{2}$ — средний диаметр катушки.

В приведенных формулах L — индуктивность катушки, *мкгн*; D — средний диаметр витков, *см*; b — длина намотки, *см*; c — радиальная глубина намотки, *см*; w — количество витков.

В коротковолновых контурах чаще всего используются однослойные цилиндрические катушки. Они наматываются обычно на тонкостенных прессшпановых, текстолитовых, эбонитовых или керамических каркасах диаметром от 12 до 50 *мм*. Наилучшими являются керамические каркасы.

Длину намотки таких катушек не следует делать слишком большой. Наивыгоднейшее соотношение между D и b составляет 2,5. Иначе говоря, максимальной добротностью обладает такая катушка, у которой диаметр намотки в 2,5 раза больше ее длины. Однако на практике в катушках, предназначенных для приемной аппаратуры, наивыгоднейшее соотношение между D и b большей частью не выдерживается, так как при этом катушки получаются очень громоздкими. Достаточно высокая добротность катушек получается и при соотношении между D и b, близким к единице, т. е. при длине намотки, составляющей от 0,4 до 1,2 диаметра.

Катушки для диапазона волн от 80 до 200 *м* наматывают большей частью изолированным проводом марки ПЭШО или ПШД 0,25—0,4, причем намотка производится вплотную; для диапазона волн от 40 до 80 *м* — проводом ПЭШО или ПШД 0,4—0,6 и, наконец, для волн короче 40 *м* — голым проводом или проводом марки ПЭ 0,6—1,5. В последнем случае намотка производится с принудительным шагом при расстоянии между центрами витков порядка 1,5—2 диаметра провода. Катушку обратной связи, а также антенную или анодную катушки при индуктивной связи наматывают, как правило, на одном каркасе с контурной, размещая ее на расстоянии 3—5 *мм* от последней. Катушки связи можно наматывать проводом марки ПЭШО или ПЭ 0,1—0,15.

Некоторым недостатком однослойных цилиндрических катушек является их громоздкость. Поэтому на волнах длиннее 50 *м* часто применяют многослойные секционированные катушки с намоткой типа «универсаль» или внавал между щечками, вырезанными из высококачественного диэлектрика.

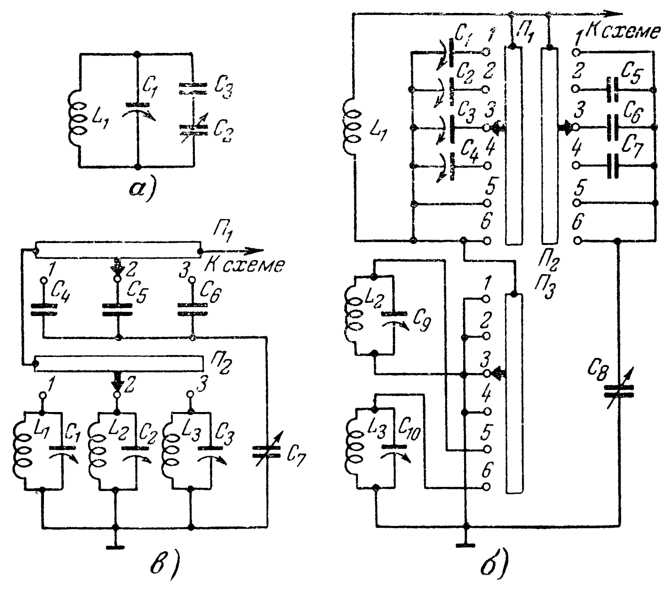
В заключение следует отметить, что конструктивный расчет коротковолновых контуров получается менее точным, чем длинноволновых, так как вследствие относительно малых величин их элементов трудно учесть влияние различных соединительных проводов, собственных и монтажных емкостей и т. п. Поэтому в большинстве случаев выполненный точно по расчету или готовому описанию коротковолновый контур приходится подгонять практически при настройке приемника.

Растянутые диапазоны. Растягивание диапазона чаще всего производится с помощью небольшого конденсатора переменной емкости, подключаемого параллельно основному конденсатору настройки, или же путем соответствующего включения конденсатора настройки. Последний способ более удобен, так как при нем не требуется дополнительного агрегата конденсаторов переменной емкости и, кроме того, посредством соответствующего подбора элементов схемы легко можно получить желаемую степень растянутости для любого участка диапазона.

Наиболее часто встречающаяся схема растягивания участка диапазона приведена на фиг. 4,*а*. В ней последовательно с конденсатором переменной емкости C_2 включен конденсатор небольшой емкости C_3, а параллельно контурной катушке L_1 — конденсатор сравнительно большой емкости C_1 (30 ÷ 100 *мкмкф*). Конденсатор C_1 увеличивает общую начальную емкость контура. Обычно он выполняется в виде подстроечного конденсатора и с его помощью устанавливается начало требуемого для растягивания участка диапазона. Конденсатор C_3, будучи соединен последовательно с конденсатором C_2, ограничивает максимальную емкость контура. Таким образом, благодаря наличию конденсаторов C_1 и C_3 возрастает полная начальная емкость контура и уменьшается его конечная емкость, что приводит к заметному уменьшению диапазона перекрываемых частот.

Подобрать практически требуемые емкости конденсаторов C_1 и C_3 нетрудно. Вначале на место конденсатора C_3 включают конденсатор емкостью 15 ÷ 30 *мкмкф* и затем, установив конденсатор C_2 в положение минимальной емко-

сти, настраивают контур с помощью конденсатора C_1 на начало растягиваемого участка диапазона. Если емкость конденсатора C_1 окажется недостаточной, то параллельно с ним можно подключить еще конденсатор постоянной емкости. Настроив таким путем контур на начало растягиваемого участка диапазона и изменяя затем емкость конденсатора C_2, проверяют, какой диапазон перекрывает контур.



Фиг. 4. Схема растягивания диапазонов.

а—общая схема; *б*—схема с одним контуром; *в*—схема с отдельными контурами.

Если перекрываемый диапазон окажется слишком широк, уменьшают емкость конденсатора C_3 и затем снова повторяют весь процесс настройки. Однако теперь уже емкость конденсатора C_1 приходится изменять в очень незначительных пределах. Повторив процесс настройки 2—3 раза, можно очень точно установить границы интересующего нас участка диапазона (границы следует устанавливать с некоторым запасом).

Предположим, что мы желаем иметь в приемнике длинноволновый, средневолновый и несколько растянутых участков коротковолнового диапазона, сохранив при этом и полный коротковолновый диапазон. Для этого, использовав стандартный переключатель диапазонов, собираем схему, приведенную на фиг. 4,*б*. Здесь L_1 — катушка полного и

растянутых коротковолновых диапазонов, а катушки L_2 и L_3 — соответственно средневолнового и длинноволнового диапазонов. При положении *1* переключателей $П_1$, $П_2$ и $П_3$ имеем широкий коротковолновый диапазон, при положении *2* — первый растянутый, при положении *3* — второй растянутый и т. д. В том случае, если приемник только коротковолновый, из схемы исключаются конденсаторы C_9, C_{10} и катушки L_2, L_3.

Мы рассмотрели простейший случай, когда для всех коротковолновых диапазонов использовалась одна и та же контурная катушка. Недостатком такого метода является заметное уменьшение чувствительности приемника с понижением средней частоты растягиваемого участка диапазона, которое объясняется понижением резонансного сопротивления контура. От этого недостатка свободна схема, приведенная на фиг. 4, *в*, в которой для каждого растянутого диапазона применяется отдельная контурная катушка.

Конденсаторы, входящие в схему растянутых диапазонов, должны обладать малыми потерями, высокой устойчивостью своих основных параметров и иметь минимальный температурный коэффициент емкости. Наилучшими для этой цели являются керамические конденсаторы серого, голубого или синего цвета, выпускаемые нашей промышленностью в виде небольших трубочек (тип КТК) или дисков (тип КДК).

Данные элементов схемы растягивания можно определить не только экспериментальным путем, но также и посредством расчета. Расчет производится следующим образом:

1. Задаемся полной минимальной емкостью контура в пределах примерно от 20 до 35 *мкмкф* и определяем индуктивность контурной катушки для самой высокой частоты (короткой волны) широкого диапазона частот, пользуясь уже известной нам формулой (7).

2. Подсчитываем минимальную и максимальную емкости контура для каждого растянутого диапазона:

$$C'_{мин} = \frac{25\,330}{f^2_{1\,макс} \cdot L}; \quad C'_{макс} = \frac{25\,330}{f^2_{1\,мин} \cdot L}. \qquad (11)$$

3. Определяем емкость укорачивающего конденсатора:

$$C_3 = \\ = \frac{\Delta C'(\Delta C + 2C_{нач}) + \sqrt{\Delta C'(\Delta C + 2C_{нач})^2 + 4(\Delta C - \Delta C')(\Delta C + C_{нач})\Delta C' \cdot C_{нач}}}{2(\Delta C - \Delta C')}. \qquad (12)$$

Здесь $C_{нач}$ — минимальная емкость конденсатора C_2;

$\Delta C = C_{кон} - C_{нач}$ — разность конечной и начальной емкостей конденсатора C_2;

$\Delta C' = C'_{макс} - C'_{мин}$ — потребное изменение емкости конденсатора для перекрытия данного поддиапазона.

4. Емкость параллельного конденсатора C_1 для данного растянутого диапазона подсчитывается по формуле

$$C_1 = C'_{мин} - \frac{C_{нач} \cdot C_3}{C_{нач} + C_3}. \qquad (13)$$

В приведенных формулах *L* — *мкгн*; *C* — *мкмкф*; *f* — *мггц*.

При растягивании любительских диапазонов следует иметь в виду, что коэффициент перекрытия по частоте для всех диапазонов, кроме 10-метрового, должен быть равен 1,03, а для 10-метрового диапазона — 1,06 (по емкости соответственно 1,072 и 1,145).

Так как на краях шкалы растягивание получается слишком большим и неравномерным, коэффициент перекрытия по емкости желательно выбрать с некоторым запасом, так чтобы интересующий нас участок любительского диапазона занимал примерно 80% шкалы. Удобнее всего принять для 10-метрового диапазона $K_{емк} = 1{,}2$, а для всех остальных $K_{емк} = 1{,}1$.

Таким образом, подсчитав или измерив (в готовом приемнике) емкость $C'_{мин}$, определяем:

для 10-метрового диапазона

$$C'_{макс} = 1{,}2C'_{мин} \qquad (14)$$

и для остальных диапазонов

$$C'_{макс} = 1{,}1C'_{мин}. \qquad (15)$$

Дальнейший расчет производится по ранее приведенным формулам.

В случае применения отдельных катушек для каждого диапазона минимальную емкость $C'_{мин}$ следует принимать равной $C_{мин}$ и выбирать ее в пределах примерно от 25 до 100 *мкмкф* соответственно для частот от 30 до 2 *мггц*.

3. ВХОДНЫЕ ЦЕПИ

Общие сведения о входных цепях. Входные цепи связывают входные зажимы приемника с управляющей сеткой его первой лампы и служат для передачи к последней напряжения полезного сигнала из антенны. Прежде чем приступить к разбору схем входных цепей, посмотрим, каким требованиям они должны удовлетворять.

Для устранения помех со стороны мешающих радиостанций входные цепи должны обладать достаточными избирательными свойствами. Для получения требуемой избирательности в схему входных цепей вводят, как правило, колебательные контуры, которые настраиваются на частоту полезного сигнала. Очевидно, что диапазон частот, на которые могут быть настроены эти контуры, должен соответствовать рабочему диапазону частот приемника.

В большинстве случаев приемник должен быть выполнен так, чтобы он мог работать от антенн, имеющих различные параметры. В подобном приемнике необходимо обеспечить минимальное влияние параметров антенны на настройку входных контуров. Особенно важно выполнение этого требования в приемниках, в которых настройка всех контуров производится одной ручкой управления, так как в этом случае расстройка антенной входного контура относительно остальных контуров приведет к заметному ухудшению чувствительности и избирательности приемника.

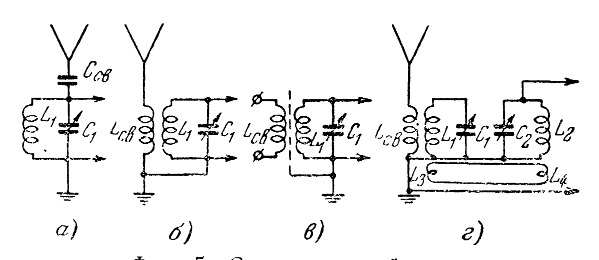
Далее желательно, чтобы входные цепи обеспечивали передачу возможно большего напряжения полезного сигнала на управляющую сетку первой лампы приемника. Количественно передача напряжения, даваемая входными цепями, характеризуется так называемым коэффициентом передачи напряжения $K_н$, представляющим собой отношение напряжения сигнала на управляющей сетке первой лампы к электродвижущей силе (э. д. с.) сигнала в антенне. Обычно на коротких волнах $K_н$ оказывается равным 3—5.

Наконец, входные цепи должны иметь постоянный коэффициент передачи напряжения по всему рабочему диапазону частот приемника. Однако в ряде случаев для компенсации непостоянства чувствительности приемника по диапазону частот, получающегося вследствие неодинакового усиления, даваемого усилителем высокой частоты на различных частотах, стремятся к тому, чтобы коэффициент передачи напряжения входных цепей менялся по определенному закону.

Схемы входных цепей. Схема и устройство входных цепей приемника в значительной степени определяются его

назначением, коэффициентом перекрытия каждого поддиапазона и типом применяемой антенны. Наиболее часто встречающиеся схемы входных цепей приведены на фиг. 5.

Схема с емкостной связью (фиг. 5, *а*) является простейшей, благодаря чему она сравнительно часто применяется в несложных приемниках. Чем больше в этой схеме емкость конденсатора связи $C_{св}$, тем выше резонансный коэффициент передачи напряжения и, следовательно, выше чувствительность приемника. Однако слишком увеличивать емкость $C_{св}$ не рекомендуется, так как при этом сильно сократится диапазон частот, перекрываемых входной цепью,



Фиг. 5. Схемы входной цепи.

а — с емкостной связью; *б* — с индуктивной связью; *в* — с индуктивной связью с двухпроводным фидером; *г* — двухконтурная.

ухудшится ее избирательность и усилится зависимость резонансной настройки входной цепи от параметров антенны. Обычно для коротковолновых диапазонов емкость конденсатора связи выбирают в пределах от 5 до 15 *мкмкф*. Для того чтобы при одноручечном управлении настройки остальных контуров, находящихся в ступенях усиления высокой частоты, совпадали по всему диапазону с настройкой антенного контура, параллельно конденсаторам переменной емкости этих контуров следует подключить конденсаторы емкостью соответственно 3—13 *мкмкф*. Удобнее всего для этой цели использовать подстроечные конденсаторы.

Существенным недостатком рассматриваемой схемы является большая неравномерность коэффициента передачи напряжения по диапазону: $K_н$ здесь резко возрастает при переходе к наиболее высокочастотному краю диапазона (в дальнейшем мы его будем называть началом диапазона) и уменьшается при переходе к наиболее низкочастотному краю (концу) диапазона. Поэтому схему с емкостной связью рекомендуется применять лишь в приемниках с узкими диапазонами, например в приемниках, рассчитанных только для приема любительских радиостанций или имею-

щих несколько растянутых радиовещательных диапазонов. При этом для получения одинакового коэффициента передачи напряжения на всех растянутых диапазонах каждый растянутый диапазон должен иметь отдельную контурную катушку.

Схема с индуктивной связью, изображенная на фиг. 5,*б*, обладает значительно большей равномерностью передачи напряжения по диапазону, чем предыдущая. Наилучшие результаты с ней получаются в том случае, когда индуктивность катушки связи $L_{св}$ выбрана такой, что собственная частота антенной цепи f_A оказывается в 1,5—2 раза ниже минимальной частоты поддиапазона $f_{мин}$ [$f_A = (0{,}5 \div 0{,}7) f_{мин}$]. При этом изменение коэффициента передачи напряжения по диапазону по сравнению с изменением $K_н$ предыдущей схемы имеет обратную зависимость: $K_н$ несколько возрастает к концу диапазона и уменьшается к его началу. Последнее обстоятельство часто оказывается полезным, так как в последующих ступенях усиления высокой частоты почти всегда получаются возрастание усиления к началу диапазона и уменьшение к концу. В результате несколько сглаживается та неравномерность чувствительности, которая вызывается ступенями усиления высокой частоты.

Индуктивность катушки связи для коротковолновых диапазонов определяется по формуле

$$L_{св} = \frac{25\,330}{f_A^2 \cdot C_A}, \qquad (16)$$

где C_A — собственная емкость антенны, *мкмкф*;
$L_{св}$ — *мкгн*;
f_A — *мггц*.

Если C_A неизвестно, то индуктивность катушки связи придется подобрать практически.

Иногда, наоборот, антенную цепь настраивают на частоту более высокую, чем наивысшая рабочая частота поддиапазона. В конструктивном отношении второй способ более удобен, так как здесь катушка связи должна иметь значительно меньшее количество витков. Однако в этом случае передача напряжения по диапазону получается менее равномерной, причем $K_н$ возрастает к началу диапазона и уменьшается к его концу. Поэтому данный вариант рекомендуется

применять в приемниках с узкими диапазонами или когда последующие ступени усиления высокой частоты собраны по специальным схемам и имеют обратную зависимость коэффициента усиления от частоты.

Вследствие своей простоты и хороших качественных показателей схема с индуктивной связью широко применяется в приемниках всех типов.

При подключении антенны с помощью двухпроводного фидера необходимо обеспечить согласование фидера со входом приемника. Правильное согласование получают обычно путем соответствующего подбора связи между катушкой связи $L_{св}$ и катушкой контура L_1 (фиг. 5,*в*). Катушку связи желательно делать возможно меньшей индуктивности. Наилучшие результаты получаются при

$$L_{св} = 1\,000\,000 \cdot \frac{\rho_ф}{2\pi f_0}, \qquad (17)$$

где $L_{св}$ — индуктивность катушки связи, *мкгн*;
f_0 — средняя частота диапазона, *мггц*;
$\rho_ф$ — волновое сопротивление фидера, *ом*.

Чтобы за счет емкостной связи между катушками $L_{св}$ и L_1 асимметрия входа приемника по отношению к земле не нарушала симметрии фидера, между этими катушками ставится заземленный электростатический экран. Экран выполняется в виде густой сетки, сплетенной из изолированных проводов (провод ПШД 0,25—0,35). Один конец каждого провода экрана заземляется, для чего предназначенные для заземления концы всех проводов соединяются между собой. Вторые концы проводников, из которых сделана сетка, ни к чему не присоединяются и тщательно изолируются.

В случае, если приемник должен работать в условиях сильных помех со стороны близко расположенных мощных радиостанций, его входное устройство приходится делать довольно сложным, применяя систему связанных контуров. На фиг. 5,*г* показана одна из возможных схем входной цепи с двумя связанными контурами, встречающаяся в профессиональных коротковолновых приемниках. Связь между антенной и первым контуром осуществляется здесь по тому же принципу, что и в ранее рассмотренных схемах, а между контурами — с помощью дополнительных катушек связи L_3 и L_4, имеющих по 2—5 витков. Во избежание появления различных нежелательных связей катушки L_1 и L_2 разделяют экраном.

Подключение или смена антенн вносит некоторую расстройку во входной контур. Чем сильнее связь антенны с контуром, тем больше вносимая расстройка. В связи с этим в приемниках с одноручечным управлением связь антенны с контуром приходится делать слабой, что понижает чувствительность приемника. При стремлении построить приемник, обладающий очень высокой чувствительностью, в антенный контур следует включить дополнительный подстроечный конденсатор небольшой емкости и его ручку вывести на переднюю панель приемника. В этом случае связь с антенной можно устанавливать довольно сильной, так как вносимую антенной расстройку можно будет компенсировать.

Однако не следует устанавливать связь слишком сильной, так как при сильной связи вследствие больших потерь, вносимых антенной цепью в контур, значительно ухудшится его избирательность.

Наивыгоднейшей, с точки зрения получения одновременно хорошей избирательности и достаточно высокого коэффициента передачи напряжения, будет связь, равная половине оптимальной. (Оптимальной называют такую связь, при которой коэффициент передачи оказывается максимальным.) При такой связи коэффициент передачи напряжения равен, примерно, 0,8 от максимального, а затухание контура увеличивается всего лишь на 25%. С достаточной для практических целей точностью требуемую связь можно подобрать, установив ее сначала максимальной, а затем уменьшив настолько, чтобы напряжение на выходе приемника стало равным 0,8 от первоначального. Систему АРУ, если она имеется в приемнике, на время подбора связи необходимо выключить.

4. УСИЛЕНИЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Общие сведения. В подавляющем большинстве случаев напряжение сигнала, поступающее из антенны на вход приемника, оказывается слишком малым для нормальной неискаженной работы детекторной ступени, а избирательность входной цепи — недостаточной, чтобы прием был свободен от взаимных помех между близкими по частоте радиостанциями. Поэтому во всех современных приемных устройствах между входной цепью и детектором включаются одна или несколько ступеней резонансного усиления высокой частоты, назначение которых и состоит в том, чтобы повысить напряжение полезного сигнала и отделить его от мешающих напряжений других частот.

Одним из основных качественных показателей усилителя высокой частоты является коэффициент усиления K, показывающий, во сколько раз напряжение на выходе усилителя $U_{вых}$ больше напряжения, подводимого к его входу $U_{вх}$:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}. \tag{18}$$

Усиление, которое можно получить с одной ступенью, во многом зависит от рабочей частоты, разонансного сопротивления контура, типа применяемых ламп и режима их работы. Для коротковолновых диапазонов оно лежит обычно в пределах примерно от 5 до 25—30 раз.

Проектируя усилитель, необходимо стремиться к тому, чтобы он имел достаточно большой коэффициент усиления, обладал высокой избирательностью и перекрывал заданный диапазон частот. Кроме того, одним из важнейших качественных показателей усилителя является устойчивость его работы; при изменении питающих напряжений на $\pm$10—15% или смене ламп он не должен самовозбуждаться, а его усилительные и избирательные свойства должны изменяться в очень небольших пределах.

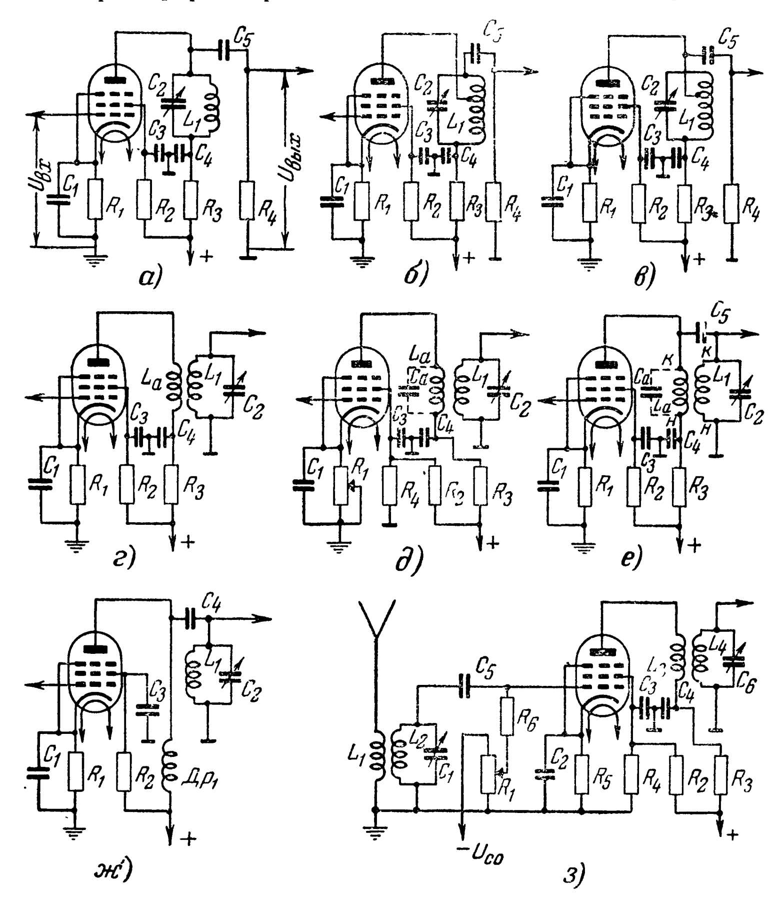
В усилителях высокой частоты используются, как правило, высокочастотные пентоды типов 6К7, 6К3, 6Ж4 и др. Эти лампы обладают очень хорошими параметрами и малой проходной емкостью C_{ac} между анодом и сеткой, благодаря чему от усилителя, работающего на этих лампах, можно получить достаточно большое усиление при устойчивой работе.

Схемы резонансных усилителей высокой частоты. Наиболее часто встречающиеся схемы резонансных усилителей высокой частоты приведены на фиг. 6. Различие между ними состоит в основном лишь в характере связи между анодной цепью лампы и колебательным контуром.

На фиг. 6,*а* изображена схема ступени с непосредственным включением контура в анодную цепь лампы. По сравнению с остальными схемами она проста. Усилитель, собранный по такой схеме, дает наибольшее усиление, но вследствие невозможности подбора наивыгоднейшей связи контура с лампой обладает несколько пониженной избирательностью и устойчивостью в работе. Поэтому по схеме фиг. 6,*а* строятся главным образом усилители высокой частоты простейших приемников, в которых нежелательно усложнение переключателя диапазонов (при нескольких диапазонах), необходимое для остальных схем. Емкость переходного конденсатора C_5 и сопротивление утечки сетки R_4 выбираются

сравнительно большими ($C_5 = 50 - 200$ *мкмкф* и $R_4 =$ $= 1{,}0 - 2{,}0$ *мгом*).

На фиг. 6,*б* приведена схема усилителя высокой частоты с автотрансформаторной связью. В нем в анодную цепь



Фиг. 6. Схемы усилителей высокой частоты.

а — схема с непосредственным включением контура; *б* и *в* — с автотрансформаторной связью; *г* — с трансформаторной связью; *д* — с ненастроенным контуром в анодной цепи; *е* — с индуктивно-емкостной связью; *ж* — с параллельным питанием; *з* — полная схема входной цепи и усилителя высокой частоты.

лампы включается не вся контурная катушка, а лишь часть ее витков, благодаря чему создается возможность подобрать наивыгоднейшую связь контура с лампой, при которой усилитель, давая достаточно большое усиление, обладает высокой избирательностью и устойчив в работе. Обычно в анод-

ную цепь лампы включается от 0,5 до 0,7 общего числа витков катушки L_1.

Схема, изображенная на фиг. 6, *в*, отличается от предыдущей тем, что в ней применяется автотрансформаторное включение контура не только в анодную цепь усилительной лампы, но и в сеточную цепь лампы последующей ступени. Такой способ включения позволяет уменьшить потери, вносимые в контур переходной цепью R_4C_5 и входным сопротивлением следующей ступени. По этой схеме целесообразно собирать ступени, стоящие перед детектором или работающие на волнах короче 10 *м*, когда активное входное сопротивление следующей ступени оказывается одного порядка с резонансным сопротивлением контура.

На фиг. 6,*г* дана схема ступени с трансформаторной связью. В ней, изменяя расстояние между катушкой L_1 и катушкой связи L_a, также можно легко подобрать наивыгоднейшую связь между контуром и лампой. Преимущество этой схемы заключается в изоляции колебательного контура L_1C_2 от источника анодного напряжения, что удобно в конструктивном отношении. Кроме того, в ней отсутствует переходная цепь R_4C_5, вносящая некоторые потери.

Число витков катушки связи L_a должно составлять примерно от половины до трех четвертей числа витков контурной катушки L_1, причем это соотношение следует уменьшать с ростом длины волны. Наивыгоднейшая связь подбирается практически в процессе налаживания приемника.

Схема с трансформаторной связью весьма удобна и широко применяется в приемниках всех типов. Ее можно рекомендовать и для любительских конструкций.

Общим недостатком рассмотренных схем является значительное непостоянство усиления по диапазону. В них усиление возрастает к началу диапазона и уменьшается к его концу.

Более равномерное усиление по диапазону дает ступень с трансформаторной связью и ненастроенным контуром в анодной цепи (фиг. 6,*д*), причем зависимость ее коэффициента усиления от частоты имеет обратный характер. Последнее дает возможность в усилителе, имеющем несколько ступеней, путем комбинирования различных схем получить постоянный коэффициент усиления в широком диапазоне частот.

Контур L_aC_a в анодной цепи лампы должен быть настроен на частоту f_a, в 2—3 раза меньшую, чем минимальная рабочая частота данного поддиапазона. В каче-

стве конденсатора анодного контура используются обычно выходная емкость лампы и собственная емкость катушки L_a, но иногда на длинноволновых поддиапазонах параллельно катушке L_a подключают еще дополнительно конденсатор емкостью 10—30 *мкмкф*.

Индуктивность катушки связи L_a можно подсчитать, пользуясь формулой (7).

В ступени с индуктивно-емкостной связью (фиг. 6,*е*), которая образуется путем дополнения ступени с ненастроенным контуром в анодной цепи конденсатором связи C_5 емкостью 2—4 *мкмкф*, можно получить еще большее постоянство усиления по диапазону, практически не зависящее от частоты. Но для этого необходимо катушку связи L_a включить таким образом, чтобы действия емкостной и индуктивной связей дополняли друг друга. Правильное включение концов катушек L_1 и L_a для случая намотки их витков в одном направлении показано на схеме.

Недостатком усилителей высокой частоты, собранных по последним двум схемам, является то, что они дают сравнительно малое усиление.

На фиг. 6,*ж* приведена схема ступени резонансного усиления с параллельным питанием и непосредственным включением контура. Такая схема исключает необходимость применения сопротивления утечки сетки, шунтирующего контур, и, кроме того, в ней контур не находится под постоянным анодным напряжением, что очень удобно в конструктивном отношении. Однако в этой схеме имеется дополнительная деталь, требующая очень тщательного изготовления—дроссель высокой частоты $Др_1$, назначение которого состоит в том, чтобы преградить путь токам высокой частоты к источникам питания и направить их к колебательному контуру.

Дроссели высокой частоты. Дроссели высокой частоты хорошо работают только в сравнительно узком диапазоне волн в пределах примерно от λ_0 до $1{,}5\lambda_0$ и несколько хуже в пределах от $0{,}8\lambda_0$ до $2{,}5\lambda_0$. Здесь λ_0—собственная волна дросселя, которую ориентировочно можно подсчитать, пользуясь следующей формулой:

$$\lambda_0 \approx 3{,}2l, \qquad (19)$$

где l—длина провода дросселя, *м*.

Весь коротковолновый диапазон значительно шире указанных выше пределов, поэтому чтобы получить хорошие результаты для каждого поддиапазона, необходимо иметь отдельный дроссель, намотанный проводом, длина которого в 3—3,5 раза меньше, чем минимальная волна поддиапазона. Однако конструктивно такой способ мало удобен, и обычно один и тот же дроссель используют для работы на всех поддиапазонах.

Междувитковая емкость дросселя, оказываясь включенной параллельно контуру, увеличивает его начальную емкость и тем самым уменьшает перекрываемый им диапазон частот. Поэтому с целью уменьшения междувитковой емкости обмотки дросселей целесообразно размещать на длинных каркасах малого диаметра.

Дроссели для волн короче 50 *м* следует наматывать в один слой на каркасах диаметром 10—15 *мм* проводом ПЭШО или ПШД 0,1—0,15. Чтобы уменьшить междувитковую емкость дросселя, его обмотку желательно разбить на три-четыре секции. Расстояние между секциями должно быть равным 3—4 *мм*. Для волн короче 15—20 *м* намотку желательно выполнять с принудительным шагом.

Дроссели на волны длиннее 50 *м* для уменьшения их геометрических размеров делают обычно многослойными секционированными (3—5 секций). Каждая секция такого дросселя наматывается проводом ПЭШО 0,1—0,15 и должна быть выполнена в виде катушки типа «универсаль» или намотана внавал и иметь ширину 3—4 *мм*, внутренний диаметр 5—10 *мм* и внешний диаметр 10—15 *мм*. Секции размещаются на керамическом цилиндре или стержне на расстоянии друг от друга около 4—6 *мм* и соединяются между собой последовательно.

При необходимости использовать дроссель в широком диапазоне частот его следует намотать из провода, длина которого в 2—2,5 раза короче минимальной волны поддиапазона. Для волн короче 50 *м* дроссель делается однослойным секционированным, причем ширина секций, считая от конца, находящегося под потенциалом высокой частоты, должна постепенно возрастать. Если дроссель должен работать еще и на волнах длиннее 50 *м*, то он делается комбинированным (к нему добавляются одна-две многослойные секции).

Расчет элементов схем. Как уже отмечалось, усиление, даваемое ступенью, в большой степени зависит от режима

работы применяемой лампы, т. е. от напряжений на ее аноде, экранной и управляющей сетках.

Отрицательное смещение U_{c0} на управляющей сетке лампы может быть получено либо с помощью сопротивления в цепи катода лампы (R_1 на фиг. 6,*а—ж*), либо от отдельного источника тока или другого участка схемы, как показано на фиг. 6,*з*.

Сопротивление, включенное в цепь катода лампы, должно быть равным

$$R_1 = 1\,000 \cdot \frac{U_{c0}}{I_a + I_э}, \qquad (20)$$

где R_1—*ом*; U_{c0}—*в*; I_a и $I_э$—соответственно анодный ток и ток экранной сетки, *ма*. Для ламп типа 6К7 и 6К3 нормальное смещение получается при сопротивлении в цепи катода, равном 300 — 350 *ом*, а для лампы типа 6Ж4 — 180 *ом*.

Сделав сопротивление R_1 переменным и включив его так, как показано на фиг. 6,*д*, можно изменять напряжение на управляющей сетке лампы и, таким образом, в широких пределах регулировать усиление, даваемое ступенью. Емкость конденсатора C_1, шунтирующего сопротивление R_1, должна составлять примерно 1 000—5 000 *мкмкф*. Усиление можно регулировать также, включив в цепь смещения потенциометр, как показано на фиг. 6,*з*.

Напряжение на экранную сетку лампы можно подать через гасящее сопротивление (R_2 на фиг. 6,*а—г*), которое подсчитывается по формуле

$$R_2 = 1\,000 \cdot \frac{U_a - U_э}{I_э}. \qquad (21)$$

Здесь U_a и $U_э$ — напряжения на аноде и экранной сетке лампы, *в*; $I_э$ — ток экранной сетки, *ма*. Обычно данные R_2 лежат в пределах 50 000 — 100 000 *ом*.

Если же в ступени предусмотрена возможность регулировки усиления, то напряжение на экранную сетку нужно снимать с делителя напряжения, как показано на фиг. 6,*д* и *з*, так как иначе в процессе регулировки оно будет сильно изменяться. Сопротивление делителя рассчитывается следующим образом:

$$R_2 = 1\,000 \cdot \frac{U_a - U_э}{5I_э}; \qquad (22)$$

$$R_4 = 1\,000 \cdot \frac{U_э}{4I_э}. \qquad (23)$$

Допустимая мощность рассеяния $P_{доп}$ сопротивлений делителя должна быть не меньше чем

$$P_{доп} = 0{,}005 \cdot U_э \cdot I_э, \qquad (24)$$

где $P_{доп}$ — *вт*; $U_э$ — *в*; $I_э$ — *ма*.

В тех случаях, когда делитель используется для питания экранных сеток нескольких ламп, его расчет производится по этим же формулам, но с учетом суммы токов экранных сеток всех питаемых от него ламп.

Для создания на экранной сетке нулевого потенциала высокой частоты последняя через конденсатор емкостью 5 000—10 000 *мкмкф* соединяется с землей (конденсатор C_3 на всех схемах фиг. 6).

Чтобы усилитель работал устойчиво и не самовозбуждался, детали на шасси нужно размещать так, чтобы проводники, несущие токи высокой частоты, были возможно короче. Анодные и сеточные цепи лампы каждой ступени следует разделить экранами, а в цепях питания установить развязывающие фильтры. Развязывающий фильтр анодной цепи обычно составляется из сопротивления 1 000—3 000 *ом* и конденсатора емкостью 0,02—0,1 *мкф* (на фиг. 6 сопротивление R_3 и конденсатор C_4), а в цепях сетки — из сопротивления 0,1—1 *мгом* и конденсатора емкостью 0,01—0,1 *мкф*.

Полная схема входной цепи и ступени усиления высокой частоты изображена на фиг. 6,*з*.

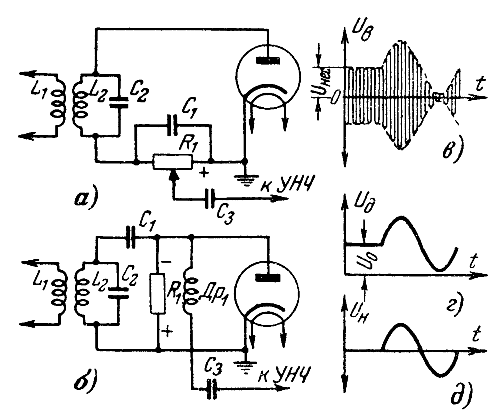
5. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Детекторная ступень является одной из важнейших частей всякого радиоприемника. Назначение ее состоит в том, чтобы преобразовать приходящее модулированное напряжение высокой частоты в напряжение звуковой частоты. Естественно, что для неискаженного приема полученное на выходе ступени звуковое напряжение должно иметь ту же частоту и такую же форму, какую имеет огибающая кривая приходящего сигнала. В сложных приемниках детекторная ступень часто используется еще и для получения управляющего напряжения для различных авторегулировок.

Эффективность работы детекторной ступени определяется так называемым коэффициентом передачи напряжения $K_д$, представляющим собой отношение амплитуды

низкочастотной составляющей напряжения $U_д$ на выходе детектора к произведению амплитуды несущей частоты сигнала $U_{нес}$ на входе детектора на коэффициент глубины модуляции m: $K_д = U_д / mU_{нес}$. Чем больше $K_д$, тем лучше при прочих равных условиях слышимость принимаемой радиостанции.

Конструируя приемник, необходимо стремиться к тому, чтобы детекторная ступень обладала возможно бо́льшим коэффициентом передачи напряжения, вносила малые частотные и нелинейные искажения и, наконец, имела высокое



Фиг. 7. Схема диодного детектирования.

а — последовательная схема; *б* — параллельная схема; *в* — модулированное высокочастотное напряжение на входе детектора; *г* — напряжение на сопротивлении нагрузки детектора; *д* — низкочастотная составляющая детектированного напряжения.

входное сопротивление. Последнее требование особенно важно для малоламповых приемников, так как детектор, шунтируя контур, с которого снимается высокочастотное напряжение, заметно ухудшает избирательность приемника.

Различают следующие основные виды детектирования: диодное, сеточное, анодное и катодное. В приемниках прямого усиления применяется, как правило, сеточное детектирование. Однако, имея в виду, что часть процессов, происходящих при сеточном детектировании, сходна с процессами диодного детектирования, рассмотрим вопросы построения детекторной ступени, начиная с последнего.

Диодное детектирование. Схема простейшего диодного детектора изображена на фиг. 7,*а* и представляет собой по сути дела обычный однополупериодный выпря-

митель, нагруженный на сопротивление R_1 и конденсатор C_1. Токи высокой частоты от контура L_2C_2 подводятся к диоду через конденсатор C_1 и выпрямляются. Постоянная составляющая выпрямленного тока, проходя через сопротивление R_1, создает на нем падение напряжения. Так как амплитуда подводимого к диоду высокочастотного напряжения $U_в$ не постоянна, а изменяется в обе стороны от некоторого среднего значения $U_{нес}$ со звуковой частотой (фиг. 7,*в*), соответственно со звуковой частотой изменяется и выпрямленное напряжение на сопротивлении R_1 (фиг. 7,*г*). Таким образом, выпрямленное напряжение является сложным и состоит из постоянного напряжения U_0 и напряжения низкой (звуковой) частоты $U_н$. Постоянное напряжение U_0, изменяющееся пропорционально силе сигнала, часто используется для различных авторегулировок, а напряжение звуковой частоты $U_н$ через разделительный конденсатор C_3 емкостью 5 000—10 000 *мкмкф* поступает на вход усилителя низкой частоты приемника. Выполнив сопротивление R_1 в виде потенциометра, можно в широких пределах изменять звуковое напряжение на выходе детекторной ступени.

Сопротивление нагрузки диода R_1 в зависимости от высшей модулирующей частоты выбирается обычно в пределах от 0,25 до 1 *мгом*, а емкость конденсатора C_1 — в пределах от 100 до 250 *мкмкф*. Чем выше максимальная частота модуляции, тем меньшим должно быть значение R_1. Поэтому в приемниках с широкой полосой пропускания (10—16 *кгц*), предназначенных для высококачественного воспроизведения, оно должно соответствовать меньшему пределу, а в приемниках для любительских связей, имеющих сравнительно узкую полосу пропускания, — большему. В приемниках со средней полосой пропускания (6—8 *кгц*) R_1 чаще всего выбирается равным 0,5 *мгом* .

Снижение значения R_1 за указанный предел значительно уменьшает входное сопротивление детекторной ступени и приводит к сильному шунтированию предшествующего контура, а увеличение — к завалу высоких частот, т. е. к появлению частотных, а иногда и нелинейных искажений. Уменьшение емкости конденсатора C_2 вызывает ухудшение коэффициента передачи напряжения детектора, а повышение ее, как и в случае увеличения сопротивления R_1, — к появлению частотных и нелинейных искажений.

Качественные показатели детекторной ступени при диодном детектировании в большой степени зависят от

уровня приходящего сигнала. Так, при слабых сигналах, когда эффективное значение напряжения несущей частоты $U_{нес}$, подводимого к детектору составляет менее 0,1 *в*, детектирование сопровождается значительными нелинейными искажениями, а коэффициент передачи напряжения $K_д$ и входное сопротивление $R_{вх}$ оказываются значительно пониженными. С увеличением напряжения высокой частоты степень вносимых детектором нелинейных искажений уменьшается, а $R_{вх}$ растет, и уже для $U_{нес}$, равного 0,6—1 *в*, нелинейные искажения практически мало заметны, а входное сопротивление

$$R_{вх} = 0{,}5R_1. \qquad (25)$$

Однако, для того чтобы нелинейные искажения отсутствовали при глубокой модуляции, эффективное напряжение несущей частоты $U_{нес}$ должно быть не меньше чем 1,5—2 *в*.

Из сказанного можно сделать вывод, что диодное детектирование целесообразно применять в сложных приемниках, в которых приходящий сигнал предварительно значительно усиливается, а также в приемниках, рассчитанных для приема местных радиостанций.

На фиг. 7,*б* приведена схема параллельного диодного детектирования. Все сказанное относительно первой схемы (фиг. 7,*а*), за исключением входного сопротивления, справедливо также и для этой схемы детектирования.

Входное сопротивление в схеме параллельного детектирования

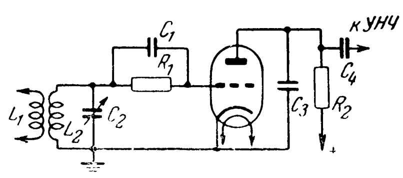
$$R_{вх} = \frac{1}{3} R_1, \qquad (26)$$

т. е. оно несколько меньше, чем в схеме последовательного детектирования. Поэтому детекторные ступени по схеме фиг. 7,*б* собираются значительно реже, чем по схеме фиг. 7,*а*. Однако благодаря конструктивным удобствам параллельное детектирование часто используется при сеточном детектировании.

Сеточное детектирование. Схема сеточного детектора изображена на фиг. 8. При сеточном детектировании промежуток управляющая сетка — катод лампы выполняет роль диодного детектора, нагрузкой которого является сопротивление утечки сетки R_1, а анодная цепь играет роль усилите-

ля низкой частоты. В этом случае детектирование в цепи сетки сочетается с усилением в цепи анода, благодаря чему коэффициент передачи напряжения получается значительно бóльшим единицы и носит название коэффициента усиления детектора.

Все соображения, относящиеся к выбору R_1 и C_1 в диодном детекторе, имеют силу и для выбора R_1 и C_1 в сеточном детекторе. Обычно сопротивление R_1 берется в пределах 1,0—1,5 *мгом,* а емкость конденсатора C_1 — порядка 50—100 *мкмкф*.



Фиг. 8. Схема сеточного детектора.

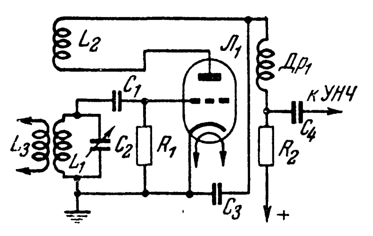
Сопротивление нагрузки R_2 в анодной цепи выбирается так же, как и для обычного усилителя низкой частоты, работающего на аналогичной лампе. Чаще всего его значение лежит в пределах 0,1—0,3 *мгом*. Конденсатор C_3 емкостью 100—200 *мкмкф* служит для создания пути высокочастотной составляющей анодного тока.

Качественные показатели сеточного детектора, так же как и диодного, во многом зависят от уровня подводимого высокочастотного напряжения. При слабом сигнале ($U_{нес}$ меньше 0,1 *в*) прием сопровождается заметными нелинейными искажениями, а с увеличением сигнала усиление, даваемое ступенью, возрастает и вносимые искажения уменьшаются. Неискаженное детектирование и максимальный коэффициент усиления получаются при среднем уровне сигнала, когда эффективное напряжение несущей частоты $U_{нес}$ лежит в пределах примерно от 0,5 до 2 *в*. Дальнейшее повышение $U_{нес}$ снова приводит к появлению значительных нелинейных искажений. Таким образом, существенным недостатком сеточного детектора является ограниченность линейного участка его характеристики. Однако благодаря высокой чувствительности детектора сеточное детектирование широко применяется в малоламповых приемниках и особенно в регенеративных приемниках. В последнем случае детекторная ступень используется также и для получения регенеративного эффекта.

Анодное и катодное детектирование в коротковолновых любительских приемниках применяется крайне редко. Поэтому останавливаться на нем мы не будем.

6. РЕГЕНЕРАЦИЯ

Свойства регенеративной ступени. Применение положительной обратной связи позволяет без особых затрат и усложнений значительно повысить чувствительность и избирательность приемника и, кроме того, дает возможность без помощи каких-либо дополнительных устройств производить прием телеграфных радиостанций, работающих незатухающими колебаниями. Характерно, что эффект действия положительной обратной связи проявляется тем заметнее, чем меньше колебательных контуров и ламп содержит приемник. Поэтому она используется главным образом в несложных коротковолновых приемниках прямого усиления и простейших супергетеродинах.



Фиг. 9. Схема регенеративной ступени.

В подавляющем большинстве случаев положительная обратная связь устраивается в детекторной ступени, которая при этом ставится в режим сеточного детектирования. Одна из возможных схем такой ступени изображена на фиг. 9. Здесь L_1C_2 — контур входной цепи или последней ступени усиления высокой частоты, с которого снимается напряжение сигнала на управляющую сетку детекторной лампы $Л_1$; L_2 — катушка обратной связи, индуктивно связанная с контурной катушкой L_1; R_1, R_2, C_1, C_3 и C_4 — обычные элементы схемы сеточного детектора. Дроссель $Др_1$ служит для того, чтобы предотвратить возможное влияние входа усилителя низкой частоты на работу ступени и не пропустить к нему высокочастотную составляющую анодного тока.

Принцип действия схемы состоит в следующем. При соответствующем включении концов катушек L_1 и L_2 высокочастотная составляющая анодного тока лампы $Л_1$, проходя через катушку обратной связи L_2, индуктирует в контурной катушке L_1 некоторую дополнительную э. д. с. Эта э. д. с. складывается с имеющейся в катушке начальной э. д. с. сигнала, в результате чего общий уровень высокочастотного напряжения на контуре возрастает, а следовательно, увеличивается и переменное напряжение высокой частоты на управляющей сетке детекторной лампы, что равноценно получению некоторого добавочного усиления.

Вследствие того что часть энергии усиленных колебаний передается посредством обратной связи из анодной цепи

лампы в сеточную, в известной мере компенсируются потери энергии в активном сопротивлении колебательного контура $L_1 C_2$. Если обратная связь меньше критической, т. е. рабочая точка установлена до порога возникновения генерации, то потери компенсируются не полностью, а лишь частично, и собственных колебаний в схеме не возникает. Однако частичная компенсация потерь эквивалентна как бы некоторому уменьшению активного сопротивления контура и, следовательно, повышению его добротности. Последнее и является причиной значительного улучшения избирательности приемника при наличии в нем положительной обратной связи.

Усиление, даваемое регенеративной ступенью при критической величине обратной связи, в большой степени зависит от силы приходящего сигнала. Чем больше амплитуда подводимого к управляющей сетке детекторной лампы высокочастотного напряжения, тем меньше даваемое ступенью усиление, и наоборот, с уменьшением амплитуды подводимого напряжения коэффициент усиления ступени возрастает. Благодаря этой особенности в приемнике, содержащем регенеративную ступень, в известной степени осуществляется автоматическая регулировка усиления.

При приеме телеграфных радиостанций, работающих незатухающими колебаниями, обратную связь устанавливают за критической точкой и несколько расстраивают контур приемника относительно частоты принимаемых сигналов. В этом случае на управляющую сетку детекторной лампы воздействуют одновременно два высокочастотных напряжения: от приходящего сигнала и от собственных колебаний. Возникшие в результате сложения этих колебаний биения после детектирования дают токи и напряжения звуковой частоты, продолжительность которых соответствует продолжительности передаваемых сигналов телеграфной азбуки.

Большие неприятности во время приема телеграфных радиостанций создает так называемое явление захватывания. Проявляется оно в том, что при настройке приемника на принимаемую радиостанцию в некоторой полосе частот частота биений оказывается равной нулю, и вместо звуковых сигналов, соответствующих телеграфной азбуке, в телефонах слышны лишь неприятные хлопки.

Сущность явления захватывания состоит в следующем. При настройке приемника на радиостанцию, пока расстройка остается еще достаточно значительной, напряжение сигнала не оказывает влияния на частоту собственных колебаний регенератора. По мере приближения настройки прием-

ника к частоте радиостанции разность между частотами собственных колебаний регенеративной ступени и приходящего сигнала уменьшается, в результате чего слышимый тон биений плавно понижается. Когда расстройка становится незначительной (1—3 *кгц*), напряжение сигнала начинает оказывать заметное влияние на частоту собственных колебаний регенератора; частота собственных колебаний регенератора становится не равной резонансной частоте колебательного контура, отклоняясь от нее в сторону частоты приходящего сигнала. Вследствие этого частота биений начинает очень быстро понижаться. Наконец, при какой-то настройке приемника частота собственных колебаний регенератора оказывается равной частоте приходящих сигналов и в некотором интервале частот биения отсутствуют, несмотря на то, что между резонансной частотой контура регенератора и частотой приходящих сигналов имеется некоторая расстройка. Объясняется это тем, что приходящие сигналы «захватывают» или, иначе говоря, «увлекают» собственные колебания регенератора. Наконец, при расстройке приемника относительно частоты принимаемой радиостанции в противоположную сторону в некоторый момент времени вследствие ослабления захватывающего действия биения вновь возникают, и их частота вначале резко возрастает, а затем при дальнейшей расстройке приемника повышается равномерно.

Ширина полосы захвата зависит от соотношения между напряжением, создаваемым собственными колебаниями, и подводимым напряжением сигнала. Чем больше напряжение сигнала и слабее обратная связь, тем шире полоса захвата. Особенно сильные помехи явление захватывания создает при приеме слабых сигналов в условиях сильных помех со стороны близких по частоте громко слышимых радиостанций, делая порой прием совершенно невозможным. Чтобы несколько ослабить захватывающее действие мешающих радиостанций и тем самым улучшить работу приемника, при сильных помехах приходится уменьшать высокочастотное напряжение от приходящих сигналов, подводимое к управляющей сетке детекторной лампы, или увеличивать обратную связь. Однако и то, и другое значительно понижает чувствительность приемника.

Чувствительность и избирательность приемника наиболее велики, когда обратная связь установлена у самого порога возникновения колебаний. Поэтому чтобы реализовать все преимущества, которые может дать применение положитель-

ной обратной связи, регенеративную ступень следует тщательно наладить, добиваясь такого режима самовозбуждения, при котором генерация наступает мягко, и амплитуда колебаний с увеличением обратной связи плавно нарастает от нуля до некоторой величины, а с уменьшением так же плавно убывает, достигая нуля при такой же величине связи, при какой возникли колебания.

Жесткий режим самовозбуждения характеризуется тем, что при достижении определенной обратной связи генерация наступает резко, амплитуда колебаний скачком достигает значительной величины, после чего с увеличением обратной связи повышается незначительно, а затем при уменьшении связи колебания так же резко срываются, причем срыв колебаний происходит при меньшей обратной связи, чем ее возникновение. Этот режим является неприемлемым, так как при жестком самовозбуждении оказывается практически невозможным вести прием около порога возникновения колебаний.

Мягкого режима самовозбуждения добиваются экспериментально, подбирая при налаживании приемника анодное напряжение, данные системы обратной связи, емкость и сопротивление в цепи сетки и т. д. Так как обратная связь осуществляется большей частью в детекторной ступени, регенеративную ступень нужно отрегулировать так, чтобы она хорошо работала и в качестве детектора.

Анодное напряжение (а для тетродов и пентодов — напряжение на экранной сетке) для лампы регенеративной ступени, выполняющей одновременно роль детектора, необходимо подобрать таким, чтобы при напряжении на управляющей сетке, равном — 0,5—1 *в*, рабочая точка располагалась в центре прямолинейного участка характеристики лампы.

Большое влияние на режим регенератора оказывает смещающее напряжение на управляющей сетке. Оно зависит от величины сопротивления утечки сетки R_1 (фиг. 9) и способа его включения. Для большинства батарейных ламп хорошие результаты дает подключение R_1 к положительному полюсу (плюсу) батареи накала; при подогревных лампах оно подключается обычно к катоду лампы. Наивыгоднейшее значение сопротивления утечки для каждой лампы лежит в довольно узких пределах. При слишком малом значении R_1 режим самовозбуждения может получиться жестким, а детектирование — малоэффективным; при слишком большом может наступить прерывистая генерация. В большинстве

случаев наивыгоднейшее значение сопротивления R_1 составляет 1,0—1,5 *мгом*, но все же для каждого частного случая оно должно быть подобрано отдельно.

Наконец, необходимыми условиями для нормальной работы регенеративной ступени являются хорошая изоляция сеточной цепи и высокое качество входящих в нее деталей.

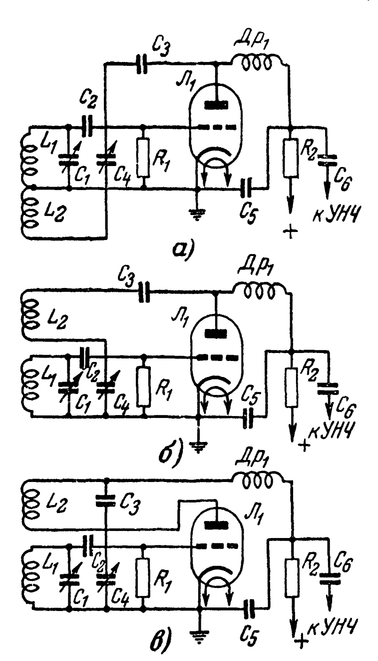
Число витков катушки обратной связи L_2 для коротковолновых диапазонов составляет обычно 30—70% числа витков контурной катушки L_1, причем с укорочением волны оно возрастает.

Чтобы обратная связь оказалась положительной, концы катушки L_2 необходимо включить строго определенным образом. Так, если контурная катушка и катушка обратной связи намотаны в одном направлении, т. е. одна катушка является как бы продолжением другой, то включение концов катушек должно быть следующим: начало катушки обратной связи подключается к аноду лампы, а конец — к положительному полюсу анодного напряжения; начало контурной катушки присоединяется к катоду лампы, а конец — к управляющей сетке. Если контурная катушка и катушка обратной связи намотаны в противоположные стороны, то соответственно меняется порядок включения концов катушки обратной связи.

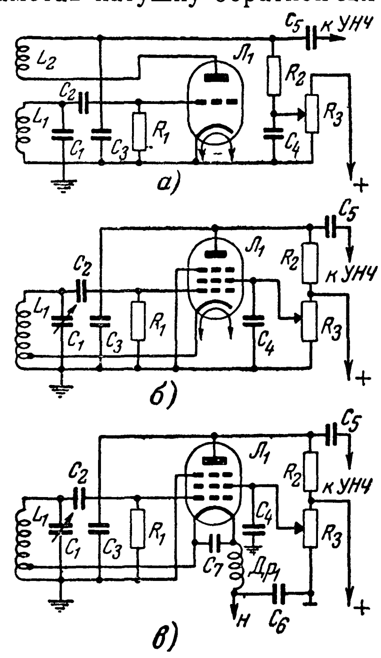
Регулировка обратной связи. Регулировка обратной связи может производиться различными способами: изменением связи между катушками, с помощью конденсатора переменной емкости, изменением питающих напряжений и т. д. Однако не все способы регулировки удобны на коротких волнах. Простейшая схема с подвижной катушкой в коротковолновых приемниках практически совершенно не применяется, так как при этом регулировка обратной связи оказывает большое влияние на настройку приемника, что затрудняет работу с ним и делает невозможным его градуировку. Значительно лучшие результаты получаются при регулировке обратной связи с помощью конденсатора переменной емкости (фиг. 10). В схемах фиг. 10,*а* и *б* токи, текущие в анодной цепи лампы, разделяются: постоянная составляющая и составляющая звуковой частоты, получаемые в результате детектирования, проходят через высокочастотный дроссель $Др_1$, а высокочастотная составляющая — через разделительный конденсатор C_3, конденсатор C_4 и катушку L_2 к катоду лампы. Иногда вместо дросселя $Др_1$ включают сопротивление 10 000—20 000 *ом*. Конденсатор C_5 емкостью 150—200 *мкмкф*, шунтируя вход усилителя низкой частоты,

препятствует влиянию последнего на работу детекторной ступени и повышает тем самым устойчивость приема. Кроме того, отводя к катоду лампы высокочастотные токи, частично прошедшие через дроссель $Др_1$, он улучшает работу низкочастотного тракта приемника. Регулировка обратной связи осуществляется изменением емкости конденсатора C_4.

Схема фиг. 10,*а* удобна тем, что здесь обе катушки можно выполнить как одно целое, намотав катушку обратной свя-



Фиг. 10. Схемы регулировки обратной связи конденсатором переменной емкости.



Фиг. 11. Схемы регулировки обратной связи изменением питающих напряжений.

зи L_2 в виде продолжения контурной катушки L_1 и сделав в соответствующем месте отвод. При этом автоматически получится правильное включение концов катушки обратной связи. Недостатком рассмотренной схемы является то, что в ней подвижные пластины конденсатора C_4 находятся под потенциалом высокой частоты. При обычной конструкции конденсатора переменной емкости это приводит к сильному емкостному влиянию руки оператора на работу приемника и, кроме того, неудобно в конструктивном отношении. Указанный недостаток устранен в схеме. приведенной на

фиг. 10,*б*. Но зато здесь нельзя сделать одну общую катушку, и поэтому катушку обратной связи L_2 приходится наматывать отдельно, рядом с катушкой L_1.

Схема, изображенная на фиг. 10,*в*, дает примерно такие же результаты, как и две предыдущие, и также часто применяется в коротковолновых приемниках.

Недостатком рассмотренных способов регулировки обратной связи конденсатором переменной емкости является то, что при них обратная связь все же оказывает некоторое влияние на настройку приемника, а пределы регулировки сильно зависят от частоты. Почти полное устранение этих недостатков дают схемы регулировки изменением питающих напряжений, изображенные на фиг. 11.

В схеме фиг. 11,*а* регулировка осуществляется путем изменения напряжения на аноде лампы, а в схемах фиг. 11,*б* и *в* — напряжения на экранных сетках. Особенностью последних двух схем является то, что для создания положительной обратной связи здесь используется цепь катода лампы, а в качестве катушки обратной связи — часть витков контурной катушки. Обычно отвод на катод лампы берется от $^1/_3$—$^1/_4$ витков контурной катушки, считая от заземленного конца. Высокочастотный дроссель $Др_1$ в схеме фиг. 11,*в* нужен для того, чтобы нижние витки контурной катушки для токов высокой частоты не оказались замкнутыми через нить накала лампы и источник питания, а конденсатор C_6 емкостью 1 000—2 000 *мкмкф* предотвращает влияние цепей накала на работу ступени.

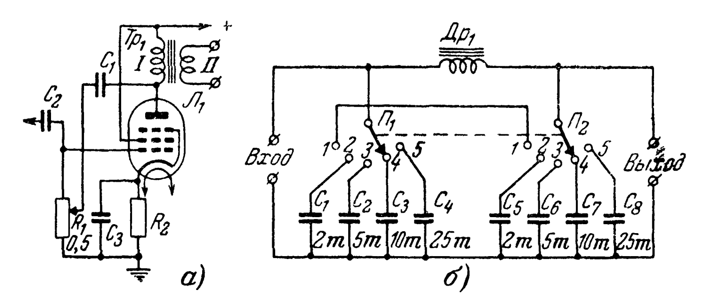
Существенным недостатком простейших регенеративных приемников является сильное излучение, создающее значительные помехи приему на близко расположенных приемниках. Чтобы уменьшить это излучение, между входной цепью и регенеративной ступенью желательно иметь одну-две ступени усиления высокой частоты.

7. УСИЛЕНИЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Схемы усиления низкой частоты, применяемые в радиовещательных коротковолновых приемниках, как правило, ничем не отличаются от схем усиления низкой частоты, используемых в аналогичных длинноволновых приемниках. Поэтому, не останавливаясь подробно на обычных схемах усиления низкой частоты, рассмотрим лишь наиболее интересные узлы схем, применяемых в любительских коротковолновых приемниках, предназначенных для радиосвязи.

Известно, что чем у́же полоса пропускания приемника,

тем меньше заметны всякого рода помехи (помехи от соседних по частоте радиостанций, атмосферные и индустриальные помехи, внутренние шумы приемника). В современных супергетеродинных приемниках для сужения полосы пропускания устанавливают в ступенях усиления промежуточной частоты специальные сложные многоконтурные или кварцевые фильтры. У приемников прямого усиления сузить полосу пропускания можно, лишь ограничив частотную характеристику усилителя низкой частоты. Но и такой метод сужения полосы, хотя и не дающий таких же результатов, как сужение полосы в усилителе промежуточной частоты, все же позволяет значительно уменьшить эффективность действия помех и тем самым заметно улучшить качество приема.



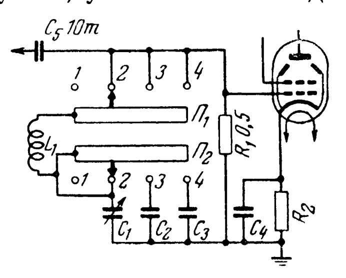
Фиг. 12. Схемы срезания высших звуковых частот.
а — схема с отрицательной обратной связью; *б* — схема П-образного фильтра низких частот.

При приеме дальних телефонных радиостанций наибольшие неприятности создают высшие звуковые частоты, проявляющиеся в виде шумов, а также свисты от интерференции между несущими и боковыми частотами соседних по частоте радиостанций. Срезать высшие звуковые частоты можно путем шунтирования входа усилителя конденсатором емкостью 1 000—2 000 *мкмкф* или использовав для этой цели отрицательную обратную связь.

Схема ступени усиления низкой частоты, в которой для срезания высших звуковых частот введена цепь обратной связи, приведена на фиг. 12,*а*. В этой схеме через конденсатор C_1 емкостью 100—300 *мкмкф* некоторая доля энергии колебаний звуковой частоты передается из анодной цепи лампы в сеточную цепь. Вследствие того что фазы звукового напряжения в анодной и сеточной цепях противоположны, напряжение, поступающее через цепь обратной связи, складываясь с подводимым напряжением от предыдущей ступе-

ни, уменьшает результирующее напряжение на управляющей сетке лампы и тем самым понижает усиление, даваемое ступенью. Однако уменьшение усиления происходит главным образом на высших звуковых частотах, для которых сопротивление конденсатора C_1 невелико. Перемещая движок сопротивления R_1, можно регулировать напряжение, поступающее через цепь обратной связи, и тем самым устанавливать ту или иную ступень срезания высших звуковых частот.

Результаты, даваемые при использовании этой простейшей схемы, оказываются не слишком значительными. Заметно лучшие результаты можно получить, установив на входе или на выходе усилителя низкой частоты приемника П-образный фильтр, схема которого приведена на фиг. 12,*б*. В качестве дросселя $Др_1$ можно использовать любую небольшую катушку со стальным сердечником сечением 1—3 *см²*, содержащую 1 000—3 000 витков. Сдвоенный переключатель $П_1 П_2$ позволяет путем переключения конденсаторов C_1—C_4 и C_5—C_8 подобрать для каждого частного случая наивыгоднейшую характеристику фильтра или выключить его вовсе при хороших условиях приема.



Фиг. 13. Фильтр для срезания свистов интерференции.

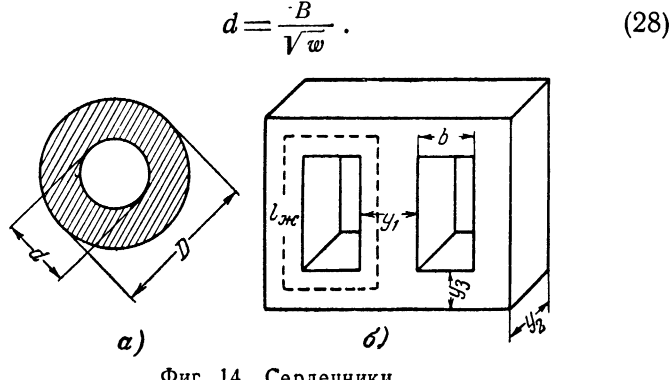
Свисты интерференции можно значительно ослабить, включив между управляющей сеткой и катодом лампы усилителя низкой частоты фильтр, схема которого приведена на фиг. 13. В положении *1* переключателей $П_1$, $П_2$ фильтр выключен. В положении *2* между сеткой и катодом лампы включается последовательный контур, состоящий из катушки индуктивности L_1 и конденсатора переменной емкости C_1. Это положение соответствует диапазону высших звуковых частот фильтра. В следующих положениях переключателей $П_1$, $П_2$ параллельно конденсатору C_1 поочередно подключаются конденсаторы C_2 и C_3, увеличивая общую емкость контура и понижая его резонансную частоту. Данные фильтра для частот от 4 000 до 9 000 *гц* следующие: индуктивность катушки $L_1 = 1$ *гн*; максимальная емкость конденсатора $C_1 = 450$—500 *мкмкф*; $C_2 = 450$ *мкмкф*; $C_8 = 900$ *мкмкф*. Конденсатор C_1 для уменьшения размеров фильтра целесообразнее всего применить с твердым диэлектриком.

Катушку L_1 фильтра лучше всего выполнить на тороидном альсиферовом сердечнике марки ТЧ или ВЧ (фиг. 14,*а*). Число ее витков w подсчитывается по формуле

$$w = A\sqrt{L}, \tag{27}$$

где L — индуктивность катушки, *мгн*,
а наивыгоднейший диаметр провода d — по формуле

$$d = \frac{B}{\sqrt{w}}. \tag{28}$$



Фиг. 14. Сердечники.
а — альсиферовый; *б* — стальной.

Коэффициенты A и B для различных типов альсиферовых сердечников приведены в табл. 1 (стр. 49).

Катушку L_1 можно выполнить также и на сердечнике из стандартных трансформаторных стальных пластин небольшого размера (например, Ш-10, Ш-12 и др.) или совсем без сердечника. Однако результаты при этом получаются заметно худшие. Количество витков катушки, наматываемой на стальном сердечнике, должно быть:

$$w = 10^4 \sqrt{\frac{L_1 \cdot l_{ст}}{400 \cdot Q_{ст}}}, \tag{29}$$

где L_1 — индуктивность катушки, *гн*;
$l_{ст}$ — средняя длина силовой линии, *см*;
$Q_{ст} = 0{,}85 \cdot y_1 \cdot y_2$ (фиг. 14,*б*) — сечение сердечника, *см*^{2}.

В случае выполнения катушки без сердечника она наматывается на деревянном каркасе диаметром 25 *мм* и имеет три секции, каждая из которых содержит по 1 825 витков провода ПЭ 0,25. Ширина секций и расстояние между ними — 6 *мм*. Намотка производится внавал между двумя щечками с внешним диаметром 80 *мм*.

Таблица 1

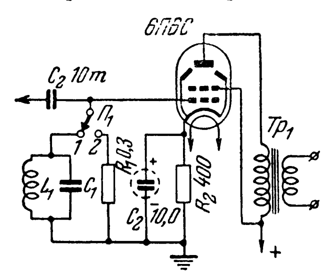
Размеры, *мм*		Сечение сердечника, *см*²	Коэффициенты	
D	*d*		*A*	*B*
Сердечник ТЧ с магнитной проницаемостью $\mu = 60$				
64	40	1,0	147	23
64	40	1,5	120	23
64	40	2,0	104	23
64	40	3,0	85	23
55	32	0,8	154	18
55	32	1,2	123	18
55	32	1,6	106	18
55	32	2,4	87	18
44	28	0,5	173	14
44	28	0,75	141	14
44	28	1,0	122	14
44	28	1,5	100	14
Сердечник ВЧ с магнитной проницаемостью $\mu = 30$				
64	40	1,0	208	23
64	40	1,5	170	23
64	40	2,0	145	23
64	40	3	116	23
55	32	0,8	213	18
55	32	1,2	175	18
55	32	1,6	150	18
55	32	2,4	123	18
44	28	0,75	200	14
44	28	1,2	173	14
44	28	1,5	141	14

При приеме телеграфных сигналов, как уже отмечалось ранее, полоса пропускания приемника может быть сужена до 100—150 *гц*. Наиболее подходящим для приема на слух является тон с частотой биений 400—1 000 *гц*. Поэтому для лучшего выделения телеграфных сигналов частотная характеристика усилителя должна иметь ярко выраженный подъем на выбранной частоте. Получить такую характеристику и этим значительно повысить избирательность приемника можно, применив резонансный усилитель низкой частоты.

Простейший способ резонансного усиления состоит в том, что дроссели или трансформаторы усилителя с помощью конденсаторов большой емкости (1 000—10 000 *мкмкф*) настраиваются в резонанс на выбранную частоту. Установив в схеме переключатель, можно, подключая к дросселям или

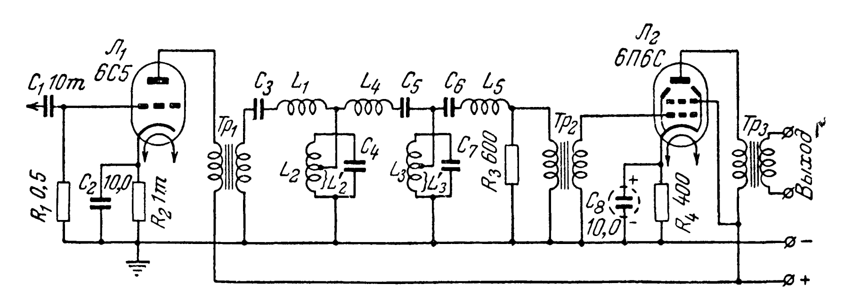
трансформаторам конденсаторы различной емкости, изменять резонансную частоту усилителя. Переход на прием телефонных радиостанций осуществляется поворотом переключателя на свободный контакт.

Для улучшения избирательности усилителя низкой частоты применяются резонансные контуры и полосовые фильтры, пропускающие узкую полосу частот. Схема простейшего усилителя с резонансным контуром приведена на фиг. 15. Контурная катушка фильтра L_1 наматывается на деревянной болванке диаметром 10 *мм* и имеет 4 секции по 5 000 витков провода ПЭ 0,1 в каждой секции. Секции отделяются друг от друга прессшпановыми или текстолитовыми кольцами толщиной 1 *мм* и внешним диаметром 40 *мм*. Ширина каждой секции 10 *мм*. Емкость конденсатора контура $C_1 = 11\,500$ *мкмкф*.



Фиг. 15. Схема усилителя низкой частоты с резонансным контуром.

Значительно лучшие результаты получаются в случае применения усилителей с полосовыми фильтрами. Схема



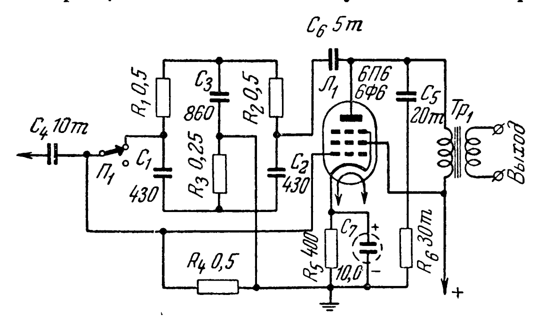
Фиг. 16. Схема полосового усилителя низкой частоты.

полосового усилителя низкой частоты приведена на фиг. 16. Данные фильтра для резонансной частоты $f_0 = 750$ *гц* и полосы пропускания 150 *гц* следующие: $L_1 = 0{,}48$ *гн*; $L_2 = 0{,}76$ *гн*; $L'_2 = 0{,}036$ *гн* (отвод от нижнего конца катушки L_2); $L_3 = 0{,}76$ *гн*; $L'_3 = 0{,}036$ *гн*; $L_4 = 0{,}96$ *гн*; $L_5 = 0{,}48$ *гн*; $C_3 = 0{,}096$ *мкф*; $C_4 = 0{,}0265$ *мкф*; $C_5 = 0{,}048$ *мкф*; $C_6 = 0{,}096$ *мкф*; $C_7 = 0{,}0265$ *мкф*.

Контурные катушки фильтра лучше всего выполнить на тороидных альсиферовых сердечниках. Число витков катушек и наивыгоднейший диаметр провода рассчитываются по формулам (27) и (28), приведенным на стр. 48.

Конденсаторы, входящие в фильтр, должны быть высокого качества и обладать возможно меньшим температурным коэффициентом емкости. Наилучшими для фильтра являются слюдяные и керамические конденсаторы.

Трансформатор Tp_1 рассчитывается, как обычный выходной трансформатор, на сопротивление нагрузки 600 *ом*. Трансформатор Tp_2 — любой междуламповый трансформа-



Фиг. 17. Схема узкополосного усилителя низкой частоты с резонансным мостом в цепи отрицательной обратной связи.

тор. В крайнем случае можно обойтись и без него. Выходной трансформатор Tp_3 наматывается на сердечнике сечением 2,5—3 *см*² проводом ПЭ 0,1—0,12. Его первичная обмотка содержит 4 000 витков, а вторичная (в случаев приема на телефоны) 2 000 витков.

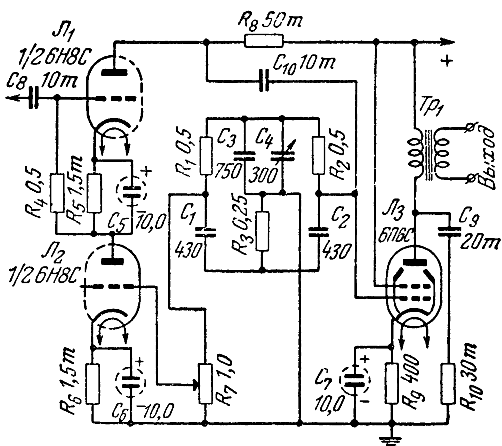
В качестве лампы $Л_1$ для лучшего согласования с фильтром желательно применять триод. В случае применения пентода его следует включать по триодной схеме, соединив экранную сетку с анодом.

Схему фильтра, приведенную на фиг. 16, можно несколько упростить, исключив из нее катушки L_3, L_4 и конденсаторы C_5, C_7. Остальные данные фильтра при этом остаются прежними. Естественно, конечно, что результаты, даваемые упрощенным фильтром, оказываются несколько худшими.

Усилители, обладающие избирательными свойствами, можно собирать и без колебательных контуров. Такие усилители содержат только сопротивления и конденсаторы и дают хорошие результаты.

На фиг. 17 приведена схема усилителя низкой частоты, в

котором для получения избирательного усиления используется цепь отрицательной обратной связи. В нем с помощью специального электрического моста, составленного из конденсаторов C_1, C_2, C_3 и сопротивлений R_1, R_2, R_3 и настроенного на требуемую частоту, в цепь управляющей сетки лампы из ее анодной цепи подаются в противофазе напряжения всех частот, за исключением этой частоты. В результате происходит резкое ослабление сигналов всех частот, кроме той, на которой мост балансируется. Назначение остальных деталей — обычное. С помощью переключателя $П_1$ мост может выключаться.



Фиг. 18. Схема узкополосного усилителя низкой частоты с усилением в цепи отрицательной обратной связи.

Значения сопротивлений и конденсаторов, входящих в схему фиг. 17, можно подсчитать, пользуясь следующими формулами:

$$R_1 = R_2 = \frac{160\,000}{f_0 \cdot C_1}; \quad R_3 = \frac{1}{2} R_1; \quad C_3 = 2C_1, \qquad (30)$$

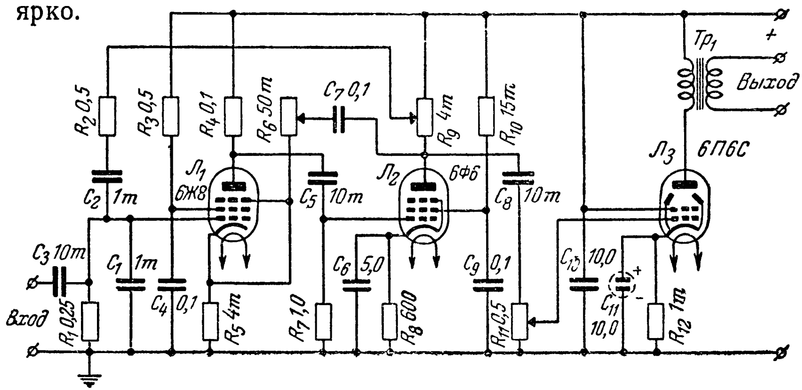
где f_0 — частота балансировки моста, *гц*;
$R_1 = R_2$ — сопротивления, *мгом*;
$C_1 = C_2$ — емкость конденсаторов, *мкмкф*;

Емкостью конденсаторов $C_1 = C_2$ задаются, принимая ее равной 400—2 000 *мкмкф*.

На схеме фиг. 17 указаны данные избирательного усилителя, настроенного на частоту $f_0 = 750$ *гц*.

На фиг. 18 приведена схема усилителя низкой частоты, в котором в цепь отрицательной обратной связи введена сту-

пень усиления, работающая на лампе $Л_2$. Изменяя с помощью потенциометра R_7 напряжение в цепи отрицательной обратной связи, можно в очень широких пределах менять частотную характеристику усилителя. При нижнем положении движка потенциометра R_7 обратное напряжение в цепь усилительной лампы не поступает, действие отрицательной обратной связи прекращается, и усилитель теряет свои избирательные свойства. При верхнем положении движка потенциометра R_7 снимаемое обратное напряжение максимально, и избирательные свойства усилителя выражены наиболее ярко.



Фиг. 19. Резонансный усилитель низкой частоты с положительной и отрицательной обратными связями.

Чтобы можно было произвести точную балансировку моста, в схему введен конденсатор переменной емкости с твердым диэлектриком C_4. Выходная ступень работает на лампе типа 6П6 или 6Ф6. Данные выходного трансформатора $Тр_1$ такие же, как и в предыдущих схемах.

Налаживание усилителя сводится главным образом к подбору емкости конденсатора C_3. Его емкость должна быть такой, чтобы в одном из крайних положений конденсатора C_4 и верхнем положении движка потенциометра R_7 усилитель самовозбуждался на желаемой для работы частоте. Установив затем конденсатор C_4 вблизи точки возникновения генерации, получаем наивысшую избирательность.

В усилителе, схема которого изображена на фиг. 19, для получения избирательного усиления использованы как отрицательная, так и положительная обратные связи. По сути дела такой усилитель представляет собой звуковой генератор на RC, работающий в недовозбужденном режиме. При-

менение подобных схем позволяет строить колебательные цепи без громоздких деталей, обладающие высокой устойчивостью и ярко выраженными избирательными свойствами. В отличие от обычного недовозбужденного лампового генератора в этих схемах изменение питающих напряжений, смена ламп, а также перестройка системы с одной частоты на другую не вызывают паразитного самовозбуждения и ухудшения избирательных свойств усилителя.

Низкочастотное напряжение для цепей положительной и отрицательной обратных связей в этом усилителе снимается с сопротивления R_9 нагрузки лампы $Л_2$. В цепь положительной обратной связи входят сопротивления R_1, R_2 и конденсаторы C_1, C_2, а в цепь отрицательной — разделительный конденсатор C_7 и делитель напряжения, состоящий из сопротивлений R_5 и R_6. Изменяя сопротивление R_6, легко можно менять степень отрицательной обратной связи. Данные выходного трансформатора такие же, как и в предыдущих схемах. Значения всех остальных деталей указаны на схеме.

Резонансная частота усилителя определяется данными цепи положительной обратной связи, а именно сопротивлениями $R_1 = R_2$ и емкостью конденсаторов $C_1 = C_2$. Эта зависимость выражается формулой

$$f_0 = \frac{160\,000}{R \cdot C}, \qquad (31)$$

где f_0 — *гц*; R — *мгом*; C — *мкмкф*.

Если применить в качестве конденсаторов C_1 и C_2 сдвоенный агрегат конденсаторов переменной емкости или в качестве сопротивлений R_1 и R_2 — сдвоенное переменное сопротивление, то в процессе работы легко можно будет менять резонансную частоту усилителя.

Налаживание усилителя сводится главным образом к настройке его на требуемую частоту путем подбора данных цепочки положительной обратной связи $R_1C_1R_2C_2$, а также установления требуемой отрицательной обратной связи. Для выполнения последней задачи необходимо движок потенциометра R_9 установить в нижнее (по схеме) положение и затем, медленно вращая ручку переменного сопротивления R_6, добиться возникновения колебаний.

Во время работы с усилителем приходится пользоваться лишь двумя ручками управления: потенциометром R_9, с помощью которого в очень широких пределах можно изменять частотную характеристику усилителя, и потенциометром R_{11}, с помощью которого регулируется громкость приема.

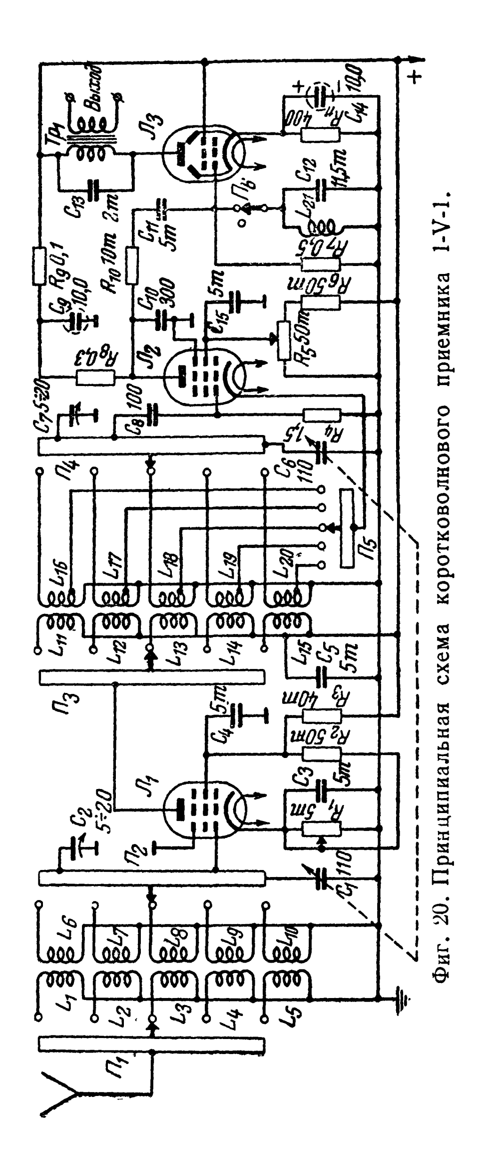
Полная принципиальная схема приемника. На фиг. 20 приведена типовая схема любительского коротковолнового приемника прямого усиления. Приемник имеет ступень усиления высокой частоты, детекторную ступень с регулируемой обратной связью и ступень усиления низкой частоты. Он предназначен для приема коротковолновых радиостанций, работающих в диапазоне от 10 до 200 *м*. Для облегчения работы с приемником и улучшения его качественных показателей весь диапазон разбит на 5 поддиапазонов: 10—20, 18—36, 33—66, 60—120 и 110—220 *м*.

Антенна на всех поддипазонах связывается с входным контуром индуктивно, с помощью катушек связи L_1—L_5. Настройка входного контура на частоту принимаемой радиостанции осуществляется конденсатором переменной емкости C_1. Подстроечные конденсаторы C_2 и C_7 служат для выравнивания начальных емкостей контуров входной цепи и анодных контуров усилителя высокой частоты, которое является необходимым условием для осуществления одноручечного управления приемником. В случае настройки входного и анодного контуров отдельными ручками необходимость в конденсаторах C_2 и C_7 отпадает.

Усилитель высокой частоты работает на лампе $Л_1$ с переменной крутизной характеристики типа 6К7, 6К3 и т. п. Анодной нагрузкой этой лампы является колебательный контур, содержащий одну из катушек L_{16}—L_{20}, конденсатор переменной емкости C_6 и подстроечный конденсатор C_7. Связь контура с лампой — индуктивная, с помощью одной из катушек связи L_{11}—L_{15}. Переход с одного поддиапазона на другой осуществляется одновременным переключением катушек входной цепи и усилителя высокой частоты, производимым переключателем диапазонов $П_1$ — $П_5$.

Напряжение на экранную сетку лампы $Л_1$ снимается с делителя, состоящего из сопротивлений R_2 и R_3. Для создания на экранной сетке нулевого потенциала высокой частоты последняя через конденсатор C_4 соединяется с шасси.

Отрицательное напряжение на управляющую сетку лампы $Л_1$ снимается с переменного сопротивления R_1, включенного в цепь ее катода. Изменяя величину этого сопротивления, можно в широких пределах менять усиление, даваемое ступенью, т. е. регулировать громкость приема. Сопротивления R_2 и R_3 в этом случае являются вспомогательными. Без них с увеличением сопротивления R_1 хотя и увеличивается отрицательное смещение на управляющей сетке лампы, однако связанное с этим уменьшение анодного тока препятствует



Фиг. 20. Принципиальная схема коротковолнового приемника 1-V-1.

увеличению смещения, делая регулировку менее эффективной. Благодаря включению сопротивления R_1 последовательно с сопротивлениями делителя R_2 и R_3 ток, проходящий через сопротивление R_1, во время регулировки усиления изменяется значительно меньше.

Детекторная ступень работает в режиме сеточного детектирования на высокочастотном пентоде $Л_2$ типа 6Ж8 или 6Ж7. Обратная связь осуществлена по схеме с катодной связью: катод лампы $Л_2$ посредством переключателя диапазонов $П_5$ подключается к части витков контурной катушки соответствующего поддиапазона. Регулировка обратной связи производится путем изменения напряжения на экранной сетке лампы с помощью потенциометра R_5. Чтобы регулировка была более плавной, последовательно с потенциометром включено гасящее сопротивление R_6, на котором теряется примерно 50% анодного напряжения.

В анодной цепи детекторной лампы вместо дросселя высокой частоты включено сопротивление R_{10}. Для создания пути высокочастотной составляющей анодного тока служит конденсатор C_{10}. Анодной нагрузкой лампы $Л_2$ является сопротивление R_8.

Усилитель низкой частоты собран по обычной схеме и работает на низкочастотном пентоде $Л_3$ типа 6П6С. Выход усилителя — трансформаторный. Для улучшения избирательности приемника при приеме телеграфных радиостанций в нем имеется несложный низкочастотный фильтр, состоящий из контура $L_{21}C_{12}$, настроенного на частоту около 1 000 *гц*.

Более подробное описание нескольких конструкций приемников прямого усиления, предназначенных для самостоятельного изготовления, приведено в гл. 3 настоящей книги.

ГЛАВА ВТОРАЯ

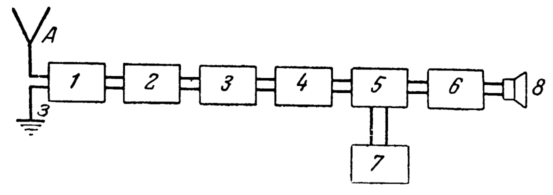
СУПЕРГЕТЕРОДИНЫ

1. СКЕЛЕТНАЯ СХЕМА СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА

Подавляющее большинство современных коротковолновых приемников строится по супергетеродинным схемам. В отличие от приемников прямого усиления, в которых усиление сигнала производится на частоте принимаемой радиостанции, в супергетеродинных приемниках частота принимаемого сигнала преобразовывается в другую, для коротковолновых приемников — более низкую, так называемую

промежуточную частоту. На этой частоте и осуществляется дальнейшее усиление сигнала.

На фиг. 21 изображена скелетная схема типового супергетеродинного приемника. От скелетной схемы приемника прямого усиления она отличается в основном лишь тем, что в ней дополнительно содержатся преобразовательная ступень, служащая для преобразования частоты приходящего сигнала в промежуточную частоту, усилитель промежуточной частоты и дополнительный гетеродин для слухового приема телеграфных радиостанций, работающих незатухающими колебаниями. Благодаря применению специальных схем сопряжения контуров получаемая в результате преобразования



Фиг. 21. Скелетная схема супергетеродинного приемника.

1 — входная цепь; *2* — усилитель высокой частоты; *3* — преобразовательная ступень; *4* — усилитель промежуточной частоты; *5* — детектор; *6* — усилитель низкой частоты; *7* — второй гетеродин; *8* — громкоговоритель.

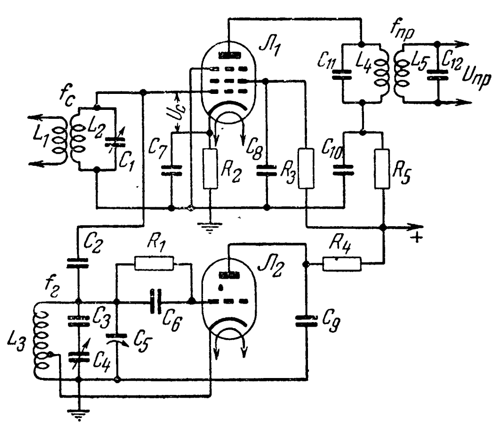
промежуточная частота оказывается одинаковой для любой из принимаемых радиостанций. Это дает возможность значительно упростить конструкцию усилителя промежуточной частоты и без особых затруднений построить его с желаемой характеристикой по чувствительности, избирательности и полосе пропускания.

Основные преимущества супергетеродина перед приемниками прямого усиления заключаются в том, что он имеет повышенную чувствительность, избирательность и одновременно хорошую П-образную форму резонансной кривой, благодаря чему удается успешно разрешить две взаимно противоречивые задачи: получить высокую избирательность и малые частотные искажения. Супергетеродин обладает значительно бо́льшим, чем приемник прямого усиления, постоянством чувствительности и избирательности по диапазону и допускает возможность эффективного применения самых различных авторегулировок. Особенно заметный выигрыш в чувствительности и избирательности дают супергетеродины при приеме коротких волн. Можно с уверенностью сказать, что хороший слушательский коротковолновый приемник

можно построить лишь по супергетеродинной схеме, что только первоклассный супергетеродинный приемник может полностью удовлетворить запросы радиолюбителя-коротковолновика.

2. ОСОБЕННОСТИ СУПЕРГЕТЕРОДИННОЙ СХЕМЫ

Характерной особенностью супергетеродинных приемников является наличие преобразовательной ступени, в которой частота принимаемых сигналов преобразуется в промежуточную частоту. Процесс преобразования частоты довольно сложен, поэтому, не останавливаясь подробно на физических явлениях, происходящих при преобразовании, рассмотрим



Фиг. 22. Схема преобразовательной ступени.

лишь некоторые особенности схемы преобразователя частоты, имеющие практическое значение при проектировании супергетеродинного приемника.

Преобразовательная ступень содержит следующие основные элементы: гетеродин, создающий вспомогательные колебания высокой частоты; смеситель, в котором происходит процесс смешивания принимаемых сигналов с колебаниями гетеродина, и колебательные контуры, с помощью которых из многочисленных комбинационных частот, образующихся при преобразовании, выделяется промежуточная частота.

Одна из возможных схем преобразовательной ступени изображена на фиг. 22. В ней к управляющей сетке смесительной лампы $Л_1$ подводятся одновременно два высокочастотных напряжения: напряжение от принимаемой

радиостанции f_c и от местного гетеродина $f_г$. Данные контура гетеродина L_3, C_3, C_4 и C_5 выбираются такими, чтобы собственная частота создаваемых гетеродином колебаний всегда отличалась на промежуточную частоту $f_{пр}$ от частоты радиостанции, на которую настроен приемник. Например, если $f_{пр}$ приемника равна 460 *кгц* и он настроен на радиостанцию, работающую на частоте $f_c = 7\,000$ *кгц*, то частота гетеродина должна быть равной 7 460 или 6 540 *кгц*. И в том, и в другом случаях в анодной цепи смесительной лампы одновременно с рядом различных частот получится промежуточная частота $f_{пр} = f_г - f_c = 7\,460 - 7\,000 = 460$ *кгц* или $f_{пр} = f_c - f_г = 7\,000 - 6\,540 = 460$ *кгц*, которая будет выделена полосовым фильтром, состоящим из контуров L_4C_{11} и L_5C_{12}, включенным в анодную цепь смесительной лампы. В большинстве случаев в связи с рядом конструктивных удобств частоту гетеродина выбирают выше частоты сигнала.

Усиление, даваемое преобразовательной ступенью, определяется как отношение напряжения промежуточной частоты на выходе ступени $U_{пр}$ к напряжению высокочастотного сигнала U_c, подводимого к управляющей сетке той же лампы. Величина этого усиления зависит от параметров смесительной лампы, от качества контуров полосового фильтра, а также от амплитуды напряжения гетеродина. Количественно усиление, даваемое ступенью при двухконтурном полосовом фильтре и критической связи между контурами, можно подсчитать, пользуясь формулой

$$K_{пр} = 0{,}5 S_{пр} \cdot Z, \qquad (32)$$

где $K_{пр}$ — коэффициент усиления ступени;

$S_{пр}$ — крутизна преобразования смесительной лампы;

Z — резонансное сопротивление контуров полосового фильтра.

Следует отметить, что крутизна преобразования, представляющая собой отношение приращения анодного тока промежуточной частоты $\Delta i_{пр}$ к приращению напряжения сигнала ΔU_c, т. е.

$$S_{пр} = \frac{\Delta i_{пр}}{\Delta U_c}, \qquad (33)$$

не является строго определенной для данной лампы и зависит от выбранного режима работы и, в частности,

от амплитуды колебательного напряжения гетеродина. При определенном наивыгоднейшем напряжении гетеродина значение $S_{пр}$ достигает наибольшей величины. Это наибольшее значение $S_{пр}$ обычно и приводится в паспортах ламп.

Вследствие наличия преобразовательной ступени прием на супергетеродинном приемнике может иногда сопровождаться рядом помех, характерных только для приемника этого типа. Допустим, например, что приемник настроен на радиостанцию, работающую на частоте $f_c = 7\,000$ *кгц*, и при этом частота гетеродина $f_г = 7\,460$ *кгц*. Предположим теперь, что кроме интересующей нас радиостанции, на частоте $f_з = 7\,920$ *кгц*, отличающейся на удвоенную промежуточную частоту от частоты принимаемых сигналов, работает еще какая-то радиостанция. Путем простого подсчета нетрудно убедиться, что сигналы этой радиостанции совместно с частотой гетеродина также образуют в смесителе промежуточную частоту и, если не принять специальных мер, создадут сильнейшие помехи приему. Действительно, $f_{пр} = f_з - f_г = 7\,920 - 7\,460 = 460$ *кгц*.

Таким образом, характерной особенностью супергетеродина является то, что кроме основной радиостанции, на волну которой настроен приемник, на том же самом делении шкалы можно услышать также и радиостанцию, частота которой на две промежуточные частоты выше (если частота гетеродина выше частоты принимаемого сигнала) или ниже (если частота гетеродина ниже частоты принимаемого сигнала) частоты основной принимаемой радиостанции. Эти симметричные относительно частоты гетеродина радиостанции, создающие помехи, принято называть симметричными или зеркальными.

Значительные помехи приему могут быть также от мощных радиостанций, работающих на частотах $f_п = f_г \pm f_{пр}/2$, $f_г \pm f_{пр}/3$ и т. д. В этом случае появление помех объясняется тем, что в преобразовательной ступени образуются частоты более низкие, но кратные промежуточной частоте, которые затем, умножаясь вследствие нелинейности характеристики лампы, создают частоты, равные промежуточной. Так, например, если $f_{пр} = 460$ *кгц*, а $f_г = 7\,460$ *кгц* и $f_п = 7\,230$, то в преобразовательной ступени возникнет частота $f_к = f_г - f_п = 7\,460 - 7\,230 = 230$ *кгц*, вторая гармоника которой окажется равной промежуточной частоте: $2f_к = 230 \cdot 2 = 460 = f_{пр}$. Если мешающая радио-

станция работает на частоте $f_п=f_г\pm f_{пр}/3$, то промежуточная частота получается вследствие утроения $f_к$, и т. д.

Чтобы исключить действие симметричных и иных упомянутых выше помех, необходимо до минимума ослабить амплитуду мешающего сигнала, поступающего на управляющую сетку смесительной лампы. Эту задачу в супергетеродинном приемнике выполняет входное устройство. Кроме того, отмеченные помехи ослабляются и в ступенях усиления высокой частоты, имеющих колебательные контуры, настроенные на частоту принимаемой радиостанции.

Чем выше промежуточная частота, тем больше расстройка входных контуров приемника и контуров усилителя высокой частоты относительно мешающей радиостанции и тем значительнее при прочих равных условиях ослабление помехи.

В связи с тем что основное усиление в супергетеродине осуществляется усилителем промежуточной частоты, на первый взгляд может показаться, что в приемнике этого типа нет необходимости иметь усилитель высокой частоты, так как требуемое ослабление симметричной помехи можно получить, применив многоконтурную входную цепь. Однако усилитель высокой частоты в супергетеродине нужен не только для улучшения его избирательности относительно симметричной помехи, но также и для повышения его чувствительности. Дело в том, что преобразовательная ступень создает сравнительно большой уровень шумов, сравнимых с уровнем сигнала от дальних или маломощных радиостанций. Поэтому, чтобы обеспечить удовлетворительный прием слабо слышимых радиостанций, уровень полезного сигнала, поступающего на вход преобразовательной ступени, необходимо поднять над уровнем ее собственных шумов.

Обычно в коротковолновых приемниках устраивают одну-две ступени усиления высокой частоты. Схемы входных цепей и ступеней усиления высокой частоты супергетеродина ничем не отличаются от применяемых в приемниках прямого усиления и рассмотренных ранее, поэтому останавливаться на них здесь более подробно мы не будем.

В приемниках, предназначенных для дальнего приема, часто применяют специальные схемы преобразования, дающие пониженный уровень шумов.

Кроме описанных выше помех, прием отдельных радиостанций может сопровождаться интерференционными свистами. Так, например, интерференционные свисты могут появиться при приеме радиостанций, работающих на проме-

жуточной частоте $f_c = f_{пр}$, удвоенной промежуточной частоте $f_c = 2f_{пр}$ или на частоте $f_c = f_{пр}/2$. В первом случае они появляются в результате биений между прямым сигналом, прошедшим без преобразования, и преобразованным, когда получающаяся в результате преобразования промежуточная частота незначительно отличается от частоты принимаемой радиостанции. Во втором случае свисты получаются в результате интерференции между нормально полученной промежуточной частотой и преобразованной второй гармоникой частоты сигнала (гетеродин при приеме этой радиостанции создает частоту $f_г = 3f_{пр}$, поэтому $2f_c - f_г = 4f_{пр} - 3f_{пр} = f_{пр}$). В третьем случае свисты образуются в результате биений между промежуточными частотами, получившимися в результате преобразования частоты сигнала $f_{пр} = f_г - f_c$ и ее удвоения $2f_c = 2 \cdot f_{пр}/2 = f_{пр}$.

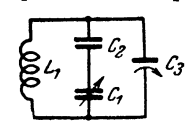
Наконец, помехи могут появиться в случае воздействия на сетку преобразовательной лампы сигналов от двух радиостанций, отличающихся по частоте на $f_{пр}$ (одна из станций окажется эквивалентной гетеродину приемника); преобразования сигнала с гармониками гетеродина и т. д. Для уменьшения всех перечисленных выше помех необходимо хорошо отфильтровать полезный сигнал от мешающих и тщательно наладить преобразовательную ступень.

3. СОПРЯЖЕНИЕ НАСТРОЕК КОНТУРОВ СУПЕРГЕТЕРОДИНА

Итак, в супергетеродинном приемнике для получения одинаковой промежуточной частоты при приеме любой из радиостанций, работающих в диапазоне его волн, необходимо, чтобы при настройке приемника частота колебаний, генерируемых гетеродином, все время отличалась от резонансной частоты входных контуров и контуров ступеней усиления высокой частоты на промежуточную частоту. Так, например, при работе приемника в диапазоне частот от 2 000 до 5 000 *кгц* и промежуточной частоте $f_{пр} = 1\,000$ *кгц* контур гетеродина должен настраиваться на частоты от 3 000 до 6 000 *кгц*.

Таким образом, в нашем случае коэффициент перекрытия диапазона по частоте для входных контуров составляет $K_д = f_{макс}/f_{мин} = 5000/2000 = 2{,}5$, а для контура гетеродина $K_г = 6\,000/3\,000 = 2$, т. е. заметно меньше.

Следовательно, перекрытие по емкости конденсаторов контуров, настраиваемых на частоту сигнала, и контура гетеродина должно быть неодинаково (перекрытие для гетеродинного контура должно быть меньше, чем для контуров, настраиваемых на частоту сигнала). С изменением промежуточной частоты или рабочего диапазона частот приемника требуемая разность в перекрытии по емкости конденсаторов изменяется. Для контура гетеродина невозможно изготовить специальный конденсатор переменной емкости, который, находясь на одной оси с остальными конденсаторами настройки, давал бы требуемое перекрытие на всех диапазонах приемника. Поэтому практически в супергетеродинном приемнике применяют агрегат с одинаковыми конденсаторами переменной емкости, а требуемое уменьшение перекрытия гетеродинного конденсатора для каждого поддиапазона получают путем подключения к нему специальных выравнивающих конденсаторов, как показано в схеме на фиг. 23.



Фиг. 23. Схема сопряжения контура гетеродина.

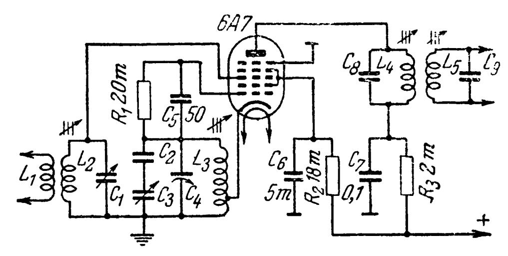
В приведенной схеме конденсатор C_2, соединенный последовательно с конденсатором C_1, уменьшает максимальную емкость контура, а конденсатор C_3 увеличивает его начальную емкость. Емкость этих конденсаторов рассчитывается по соответствующим формулам, а окончательная подгонка сопряжения производится практически при налаживании приемника. Такой способ дает точное сопряжение в трех точках каждого поддиапазона — в начале, середине и конце. В остальных точках неточность сопряжения получается настолько незначительной, что фактически приемник имеет примерно одинаковые чувствительность и избирательность по всему диапазону. Практически при промежуточной частоте 460 *кгц* для коротковолнового поддиапазона емкость конденсатора C_2 должна быть равной 4 000— 5 000 *мкмкф,* а емкость конденсатора C_3 — $5 \div 30$ *мкмкф.*

В любительских приемниках для радиосвязи, а также в приемниках, рассчитанных для приема только коротковолновых радиовещательных станций, в которых сильно растянуты очень узкие участки коротковолновых диапазонов, специального сопряжения контуров можно не производить, так как при малом коэффициенте перекрытия диапазона ($K_д$ = 1,03—1,06) необходимая разность настроек сохраняется.

4. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Выбор схемы преобразователя частоты. Выбор схемы преобразовательной ступени в значительной мере определяет качество работы супергетеродинного приемника.

В предвоенные годы в преобразовательной ступени широко применялась лампа типа 6А8. Нередко применяется она в любительских приемниках и в настоящее время. К числу ее достоинств относятся сравнительно высокая крутизна преобразования, а следовательно, и большое усиление преобразовательной ступени. Однако эта лампа обладает рядом существенных недостатков: сильной зависимостью частоты гетеродина от напряжения на управляющей сетке,



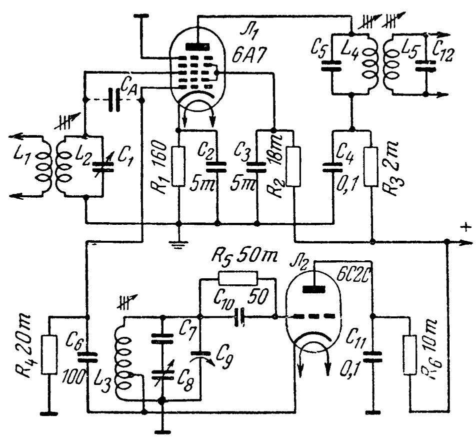
Фиг. 24. Схема преобразовательной ступени, работающей на лампе 6А7 или 6А10С.

наличием связи между гетеродинной и управляющей сетками, сравнительно малым внутренним сопротивлением и др. Особенно сильно проявляются эти недостатки на коротких волнах, создавая явление затягивания и резко уменьшая крутизну преобразования с укорочением рабочей волны. В связи с этим применять лампу 6А8 в преобразовательной ступени коротковолнового приемника нецелесообразно.

Значительно лучше, чем 6А8, на коротких волнах в качестве преобразовательной работает лампа типа 6А7 и аналогичная ей, но имеющая стеклянный баллон лампа типа 6А10С. Основное преимущество этих ламп состоит в том, что они обеспечивают более устойчивую работу приемника и меньшую зависимость частоты гетеродина от напряжения на управляющей сетке лампы.

Одна из схем преобразовательной ступени с применением лампы 6А7 или 6А10С, которая может быть с успехом применена в коротковолновом слушательском приемнике, приведена на фиг. 24. В ней гетеродин собран по трехточечной схеме с заземленным анодом. Роль анода здесь выпол-

няет экранная сетка, так как специального электрода, который выполнял бы функции анода гетеродина, в этих лампах нет. При налаживании приемника, собранного по схеме фиг. 24, рекомендуется точку присоединения катода и режим гетеродинной части лампы подобрать так, чтобы у низкочастотного края коротковолнового диапазона амплитуда напряжения на катоде лампы была равной 2 *в* (1,4 *в эфф*), а ток гетеродинной сетки (первой от катода) — от 0,2 до 0,3 *ма* при сопротивлении R_1, равном 20 000 *ом*. Измерение высокочастотного напряжения следует производить с по-



Фиг. 25. Схема преобразовательной ступени, работающей на лампе 6А7 с отдельным гетеродином.

мощью лампового вольтметра, например типа ВКС-7 и др.

В коротковолновых приемниках высокого класса, к которым предъявляются повышенные требования в отношении устойчивости работы, следует применять преобразователи с отдельным гетеродином. Типовая схема такого преобразователя, в котором в качестве смесительной используется лампа $Л_1$ типа 6А7 или 6А10С, приведена на фиг. 25. В этой схеме напряжение от вспомогательного гетеродина, работающего на лампе $Л_2$, через разделительный конденсатор C_6 подается на гетеродинную сетку лампы $Л_1$. Отсутствие высокочастотного потенциала на катоде смесительной лампы позволяет повысить по сравнению с предыдущей схемой переменные напряжения на гетеродинной сетке и тем самым несколько увеличить крутизну преобразования. Практически при налаживании приемника напряжение, поступа-

ющее от гетеродина, следует подобрать таким, чтобы ток гетеродинной сетки был равен примерно 0,5 *ма*. Наибольшая крутизна преобразования получается в рекомендуемом режиме при напряжении смещения на сигнальной сетке (третьей от катода), равном 2 *в*.

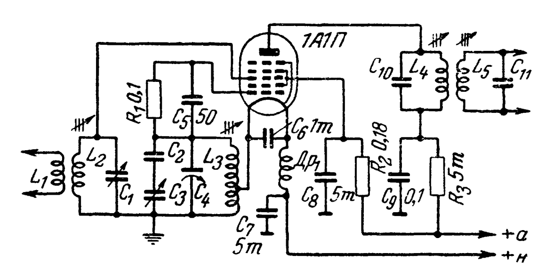
Одним из существенных недостатков ламп 6А7 и 6А10С является наличие у них некоторой связи между сигнальной и гетеродинной сетками через пространственный заряд, окружающий сигнальную сетку. Этот пространственный заряд, изменяясь с частотой гетеродина, вызывает в цепи управляющей сетки ток смещения и появление на последней переменного напряжения частоты гетеродина. Если частота гетеродина выбрана выше частоты сигнала, что имеет место в большинстве случаев, наведенное напряжение оказывается в противофазе с напряжением на гетеродинной сетке, в результате чего понижается крутизна преобразования, а следовательно, уменьшается и усиление, даваемое ступенью. Особенно сильно заметно ухудшение работы преобразовательной ступени на коротких волнах (на частотах, начиная от 15 *мггц* и выше).

В схемах с отдельным гетеродином (фиг. 25) вредное действие паразитной связи через пространственный заряд можно нейтрализовать, включив между сетками конденсатор C_A очень малой емкости (не больше 0,5 *мкмкф*), показанный на схеме пунктиром. Высокочастотный ток, протекающий через него в цепь сигнальной сетки, имеет фазу, противоположную фазе наведенного тока, и таким образом нейтрализует его вредное действие. Подбор емкости конденсатора C_A следует производить вблизи высокочастотного края коротковолнового диапазона, добиваясь минимума напряжения гетеродина на сигнальной сетке, которое измеряется ламповым вольтметром.

В случае необходимости получения нейтрализации в сравнительно широком участке коротковолнового диапазона последовательно с нейтрализующим конденсатором C_A следует включить безиндуктивное сопротивление в 2 000—3 000 *ом*. В специальных любительских приемниках с растянутыми диапазонами применение описанного выше метода нейтрализации позволяет использовать лампы 6А7 и 6А10С для приема сигналов с частотой 30 *мггц* и выше.

В экономичных батарейных приемниках в качестве преобразовательной лампы следует применять пальчиковый гептод типа 1А1П. Принципиальная схема преобразовательной ступени с этой лампой приведена на фиг. 26. Отличается она

от приведенной ранее схемы с лампой типа 6А7 лишь наличием высокочастотного дросселя в цепи накала; назначение этого дросселя состоит в том, чтобы предотвратить короткое замыкание по высокой частоте нижней части катушки L_3 гетеродинного контура. Конденсатор C_7 служит для предотвра-



Фиг. 26. Схема преобразовательной ступени, работающей на пальчиковом гептоде 1А1П.

щения влияния цепей питания накала ламп на частоту колебаний, генерируемых гетеродином. Отвод от катушки контура гетеродина присоединяется к первому штырьку лампы, а начало катушки, соединенное с шасси, подключается к отрицательному полюсу элемента накала. Число витков ка-

Таблица 2

Электрические величины и параметры	6А7 и 6А10С				1А1П
	Преобразователь частоты		Смеситель с отдельным гетеродином		
Напряжение накала, *в*	6,3	6,3	6,3	6,3	1,2
Ток накала, *а*	0,3	0,3	0,3	0,3	0,06
Напряжение на аноде, *в*	100	250	100	250	90
Напряжение на экранной сетке, *в*	100	100	100	100	45
Напряжение смещения на сигнальной сетке, *в*	0	0	—2	—2	0
Эффективное значение переменного напряжения на гетеродинной сетке, *в*	10	10	10	10	15
Сопротивление утечки гетеродинной сетки, *ком*	20	20	20	20	100
Внутреннее сопротивление, *мгом*	0,5	1	0,5	1	0,8
Крутизна преобразования, *ма/в*	0,425	0,45	0,425	0,45	0,25
Анодный ток, *ма*	3,3	3,5	3,3	3,5	0,64
Ток экранной сетки, *ма*	8,5	8,5	8,5	8,5	1,7
Ток гетеродинной сетки, *ма*	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2
Ток в цепи катода, *ма*	12,3	12,5	12,3	12,5	2,54

тодной секции катушки должно составлять 7—10% полного числа витков и подбирается так, чтобы у низкочастотного края диапазона амплитуда генерируемого напряжения составляла около 0,7—1 *в* (0,5—0,7 *в эфф*). Ток гетеродинной сетки при сопротивлении утечки $R_1 = 0{,}1$ *мгом* и напряжении на экранной сетке около 45 *в* должен при перестройке приемника оставаться в пределах 0,05—0,25 *ма*, а при напряжении на экранной сетке 65—70 *в* — в пределах 0,07—0,35 *ма*.

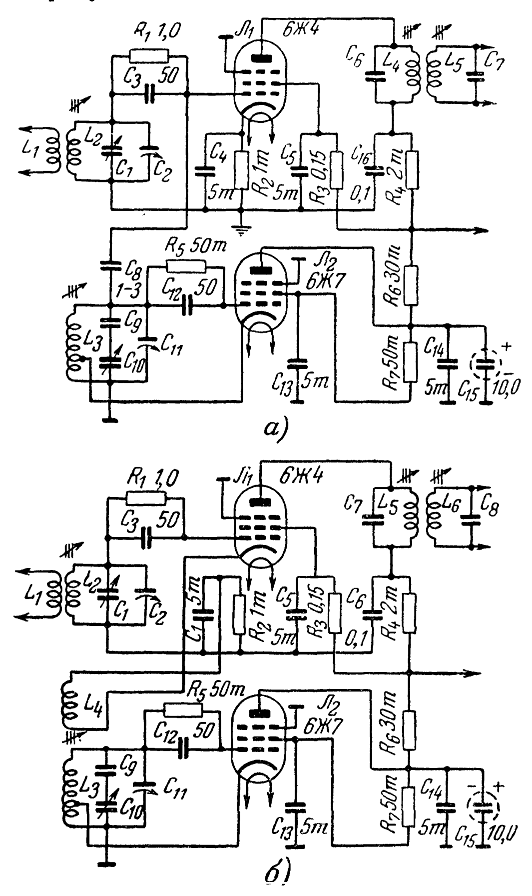
В помещенной на стр. 68 табл. 2 приводятся рекомендуемые рабочие режимы и параметры ламп 6А7, 6А10С и 1А1П.

В тех случаях, когда промежуточная частота выбирается выше 1 000 *кгц*, например в приемниках с двойным преобразованием частоты или в специальных коротковолновых приемниках, преобразовательную ступень целесообразнее собирать по схеме односеточного смешения частоты с использованием в качестве смесительной лампы высокочастотного пентода (фиг. 27), так как уровень внутренних шумов таких преобразователей значительно ниже, чем у рассмотренных ранее. Схему фиг. 27,*а*, в которой напряжение от гетеродина на управляющую сетку смесительной лампы поступает через конденсатор C_8 небольшой емкости, следует применять в приемниках с неширокими (растянутыми) диапазонами. Схема фиг. 27,*б* с катодной связью может быть использована в любом случае.

Некоторой особенностью приведенных схем является наличие в сеточной цепи сопротивления R_1 и конденсатора C_3, назначение которых состоит в том, чтобы предупредить появление значительных сеточных токов и резкого уменьшения входного сопротивления смесительной лампы в тех случаях, когда амплитуда напряжения, поступающего от гетеродина, оказывается большей, чем напряжение смещения. Сопротивление в катоде лампы R_2 следует выбирать в 2—3 раза бóльшим, чем при работе лампы в режиме усиления. В качестве смесительной лампы можно применять любой высокочастотный пентод (6Ж7, 6Ж8, 6К7 и др.), однако наилучшие результаты дают телевизионные пентоды с высокой крутизной (6Ж4, 6Ж3П и др.).

Для улучшения избирательности по симметричному каналу, а также для повышения чувствительности приемника в преобразовательной ступени малоламповых супергетеродинов применяют иногда положительную обратную связь. Однако мы считаем, что в любительском коротковолновом

приемнике, устойчивость работы которого должна быть особенно высокой, следует избегать применения в преобразователе положительной обратной связи. Целесообразнее добавить к приемнику ступень усиления высокой частоты, что даст лучшие результаты.



Фиг. 27. Схемы односеточного преобразователя частоты.

Методы повышения устойчивости частоты гетеродина. Особенно серьезное внимание при изготовлении и налаживании супергетеродинного приемника следует уделять гетеродинной части преобразовательной ступени. Гетеродин должен устойчиво генерировать во всем заданном диапазоне

частот, давая колебательное напряжение, достаточное для нормальной работы смесительной лампы, причем частота генерируемых колебаний должна быть весьма стабильной и мало зависеть от влияния различных факторов: окружающей температуры, времени, изменения питающих напряжений и т. д.

Влияние температуры на частоту генерируемых колебаний объясняется изменением параметров колебательного контура вследствие изменения линейных размеров катушки, расстояний между пластинами конденсаторов или монтажными проводами, диэлектрических свойств изоляционных материалов и т. д. Поэтому для получения высокой устойчивости частоты в гетеродине следует применять детали, изготовленные из материалов, имеющих малые температурные коэффициенты линейного расширения, и располагать их возможно дальше от частей приемника, сильно нагревающихся в процессе работы.

Контурные катушки для гетеродинов первоклассных коротковолновых приемников часто изготовляют путем вжигания в керамический каркас серебряного слоя. Вследствие сильного сцепления проводящего слоя с керамическим каркасом, имеющим очень малый температурный коэффициент линейного расширения, температура на индуктивность таких катушек влияет очень незначительно, и поэтому их следует признать наилучшими.

В любительских условиях изготовить подобным способом катушку трудно. Поэтому радиолюбителям контурные катушки гетеродина приходится выполнять несколько иначе. Наилучшие результаты получаются при выполнении катушки гетеродина на керамическом каркасе путем «горячей» намотки или намотки с сильным натяжением. При таком выполнении провод катушки находится на каркасе в сильно натянутом состоянии, и при колебаниях температуры не происходит существенных изменений размеров катушки, а лишь меняется степень натяжения провода.

Горячая намотка производится медным проводом, нагретым до температуры около 100° С. Нагрев провода можно осуществить, пропуская через него ток от источника с низким напряжением (2—10 *в* в зависимости от диаметра и длины провода), например, от накальной обмотки силового трансформатора и т. п.

Для уменьшения влияния температуры на параметры контура, происходящего вследствие изменения диаметра провода, катушку следует наматывать с принудительным

шагом, выбирая расстояние между центрами витков в 1,5—2 диаметра провода.

Сильно влияет температура также и на емкость контурных конденсаторов. Поэтому правильный выбор типов конденсаторов для контура также является необходимым условием получения высокой устойчивости частоты гетеродина.

Ни в коем случае не следует ставить в контур гетеродина обычные слюдяные и, тем более, бумажные конденсаторы, так как такие конденсаторы с изменением температуры очень сильно изменяют свою емкость. Их температурный коэффициент емкости — ТКЕ (ТКЕ показывает, во сколько раз изменяется емкость конденсатора при изменении его температуры на 1° С) — равен $+400 \cdot 10^{-6}$. Кроме того, они не обладают цикличностью (если измерить емкость конденсатора при определенной температуре, а затем температуру изменить, то, после того как температура возвратится к исходному значению, емкость конденсатора окажется уже не первоначальной, а несколько иной). Поэтому при таких конденсаторах невозможна точная градуировка шкалы приемника и, кроме того, настройка приемника в процессе работы все время изменяется.

Единственными из слюдяных конденсаторов, которые можно применять в контуре гетеродина, являются конденсаторы типа «стабиль» или КСО (конденсаторы слюдяные опрессованные). Эти конденсаторы обладают цикличностью и имеют сравнительно небольшой температурный коэффициент емкости. Их средний ТКЕ равен $+80 \cdot 10^{-6}$.

Хорошие результаты получаются при использовании в контуре керамических конденсаторов, так как керамические конденсаторы отличаются высокой стабильностью основных своих величин и обладают сравнительно малыми потерями.

Керамические конденсаторы изготовляются в виде трубочек (тип КТК) или небольших дисков (тип КДК) и выпускаются в основном двух видов: высокостабильные из тиглина, из которых составляют обычно основную емкость контура, и компенсирующие из тиконда, имеющие большой отрицательный ТКЕ. В зависимости от величины температурного коэффициента керамические конденсаторы окрашиваются в тот или иной цвет. Так, тикондовые конденсаторы имеют оранжевую окраску. Их ТКЕ равен $-500 \cdot 10^{-6}$. Конденсаторы, окрашенные в серый цвет, имеют нулевой ТКЕ, синие — $+80 \cdot 10^{-6}$ и, наконец, ТКЕ голубых равен

—(20—40) · 10^{-6}. Таким образом, для использования в контуре гетеродина наилучшими являются серые и голубые конденсаторы. При применении серых конденсаторов параллельно контуру полезно включить компенсирующий тикондовый конденсатор небольшой емкости (15—20 *мкмкф*) для компенсации температурных изменений индуктивности катушки. Точно его емкость подбирается практически. В случае применения синих конденсаторов емкость тикондового конденсатора следует увеличить до 20—30 *мкмкф*. Точный подбор его емкости и в этом случае производится практически, в зависимости от общей емкости контура.

Встречаются также конденсаторы и с другой раскраской; например тикондовые конденсаторы, окрашенные в фисташковый цвет (светлозеленый), имеют ТКЕ, равный —700 · 10^{-6}, темнозеленые — небольшой положительный, оранжевые — около — 500 · 10^{-6}. При применении в контуре темнозеленого конденсатора параллельно ему следует подключить конденсатор фисташкового цвета, имеющий емкость примерно 10—12% от емкости темнозеленого конденсатора.

Тикондовые конденсаторы небольшой емкости (15—20 *мкмкф*) следует включать для компенсации всех температурных изменений колебательного контура даже и в тех случаях, если в контуре применяются только воздушные конденсаторы.

При монтаже гетеродина нужно отказаться от лишних изоляционных прокладок, все соединения, несущие токи высокой частоты, выполнять голым медным проводом диаметром 1,5—2 *мм*, а детали на шасси располагать так, чтобы монтажные проводники были как можно короче.

Очень большое значение для получения высокой устойчивости генерируемой частоты имеет правильный выбор режима работы гетеродина. Объясняется это тем, что в случае неудачного выбора режима при малейших изменениях питающих напряжений сильно изменяются входная и выходная емкости лампы гетеродина, входящие в состав его контура, и ее входное и внутреннее сопротивления, шунтирующие контур. Особенно резко влияет на частоту гетеродина изменение сеточных токов.

Чтобы свести к минимуму влияние колебаний напряжения источников питания, необходимо тщательно подобрать величину обратной связи и сопротивление в цепи сетки. Обратную связь следует выбирать возможно меньшей, но такой, при которой гетеродин устойчиво генерирует во всем диапа-

зоне частот, а получаемое высокочастотное напряжение достаточно для нормальной работы смесительной лампы. Обычно при трехточечной схеме с катодной связью число витков связи (нижняя часть катушки контура гетеродина) составляет от $^1/_5$ до $^1/_8$ общего числа витков катушки. Наивыгоднейшая величина сопротивления в цепи управляющей сетки гетеродинной лампы для большинства ламп оказывается равной 30 000—50 000 *ом*. С увеличением этого сопротивления устойчивость частоты генерируемых колебаний повышается, но одновременно уменьшается амплитуда колебательного напряжения.

Наконец, в специальных коротковолновых приемниках, а также в любительских приемниках, предназначенных для проведения двусторонних радиосвязей, в которых к устойчивости частоты гетеродина предъявляются особенно жесткие требования, напряжения, питающие гетеродин и экранную сетку смесительной лампы, необходимо стабилизовать с помощью газонаполненного стабилизатора напряжения.

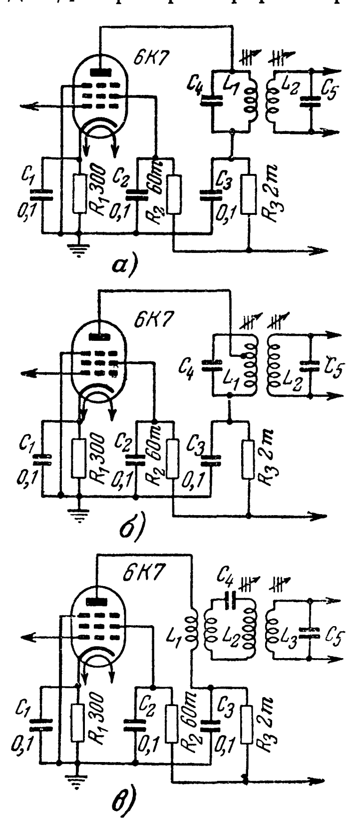
5. УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Основные схемы усилителей промежуточной частоты. Для усиления промежуточной частоты в супергетеродинном приемнике чаще всего применяют двухконтурные полосовые усилители, основные схемы которых изображены на фиг. 28.

При непосредственной связи первого контура полосового фильтра с лампой (фиг. 28, *а*) усиление, даваемое ступенью, получается максимальным. Однако при этом контур заметно шунтируется внутренним сопротивлением лампы, что ухудшает его добротность и, следовательно, понижает избирательность ступени. Кроме того, такие усилители склонны к самовозбуждению. Поэтому схемы с непосредственным включением контура в анодную цепь лампы применяются в основном только в маломламповых приемниках, имеющих одну ступень усиления промежуточной частоты.

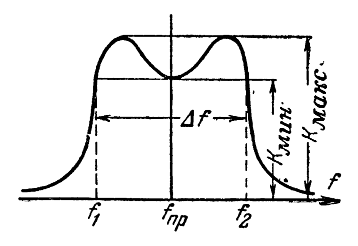
В приемниках более сложных, содержащих несколько ступеней усиления промежуточной частоты, обычно применяют автотрансформаторное (фиг. 28, *б*) или трансформаторное (фиг. 28, *в*) включение контура. В этом случае путем изменения степени связи контура с лампой можно подобрать наивыгоднейшую связь, при которой усилитель, давая достаточно большое усиление, обладает высокой избирательностью и устойчив в работе.

При автотрансформаторной связи, которая нашла наиболее широкое применение благодаря своей простоте, на частотах до 100—130 *кгц* в анодную цепь включается обычно около $^1/_3$ витков катушки, а на более высоких частотах — от $^1/_2$ до $^3/_4$. При трансформаторном включении собственная частота контура в анодной цепи лампы, состоящего из катушки связи L_1 и емкости, слагающейся из собственной емкости катушки L_1, выходной емкости лампы и емкости монтажа, должна в 2—3 раза отличаться от резонансной частоты настройки усилителя $f_{пр}$. В противном случае форма резонансной кривой исказится.



Фиг. 28. Схемы усилителей промежуточной частоты.

Основное достоинство полосового усилителя состоит в том, что форма его резонансной кривой приближается к прямоугольной (фиг. 29). Благодаря этому такой усилитель хорошо усиливает не только одну ре-



Фиг. 29. Частотная характеристика полосового усилителя.

зонансную частоту $f_{пр}$, а также определенную полосу частот Δf (от f_1 до f_2), причем за пределами этой полосы усиление резко падает. Это дает возможность в полной мере удовлетворить двум противоречащим друг другу требованиям — получить высокую избирательность по соседнему каналу и малые частотные искажения. На приведенном графике (фиг. 29) $K_{макс}$ и $K_{мин}$ — соответственно максимальное и

минимальное усиления усилителя в полосе пропускаемых частот.

Коэффициент усиления полосового усилителя может быть самым различным — от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч в зависимости от назначения усилителя. Усиление, даваемое одной ступенью, зависит от типа применяемой лампы, выбранной промежуточной частоты и параметров колебательных контуров полосовых фильтров или, как их еще называют, трансформаторов промежуточной частоты. Практически оно лежит в пределах от 40 до 140—150, увеличиваясь с понижением промежуточной частоты.

Кроме коэффициента усиления, одним из основных показателей полосового усилителя является ширина полосы пропускания. Выбор полосы, которую принято отсчитывать на уровне 0,7 максимального усиления $K_{макс}$, всецело зависит от назначения усилителя. Так, в приемниках, предназначенных для высокохудожественного приема хорошо слышимых радиовещательных станций, ширина полосы выбирается в пределах от 10 до 15 *кгц;* в приемниках, предназначенных для приема дальних радиостанций, с целью ослабления действия всевозможных помех полосу приходится сужать до 6—7 *кгц;* наконец, для приема телеграфных радиостанций наивыгоднейшей является полоса 100—300 *гц*. Поэтому в универсальных приемниках полосу пропускания усилителя промежуточной частоты часто делают переменной. Для слушательских приемников желательно строить усилители промежуточной частоты с пределом регулировки полосы пропускания примерно от 6 до 12—16 *кгц;* в любительских коротковолновых приемниках, предназначенных для радиосвязи, полоса должна регулироваться в пределах от 100—150 *гц* до 5—7 *кгц*.

Весьма важным требованием, предъявляемым к полосовому усилителю, является устойчивость его работы. Требование это заключается в том, что при смене ламп или изменении питающих напряжений на ±10—15% форма резонансной кривой усилителя не должна заметно изменяться и, кроме того, он не должен самовозбуждаться.

Выбор элементов усилителя. Одним из основных моментов проектирования усилителя промежуточной частоты является выбор емкости контуров его полосовых фильтров. Чем меньше эта емкость, тем большее усиление дает усилитель. Однако выбирать емкость контуров слишком малой нельзя, так как при малой емкости форма разонансной кривой усилителя окажется очень неустойчивой и будет заметно

изменяться при смене ламп. Если же емкость контуров взять слишком большой, то усиление окажется малым. Поэтому при выборе емкости контуров полосовых фильтров приходится находить компромиссное решение, при котором усилитель, давая достаточно большое усиление, сохраняет требуемое постоянство частотной характеристики. Так, например, в усилителях с узкой полосой пропускания, имеющих невысокую резонансную частоту, емкость контуров обычно выбирают достаточно большой, так как здесь требуется очень большая устойчивость резонансной кривой, а достаточное усиление легко получить и при сравнительно больших емкостях контуров. Наоборот, в усилителях, предназначенных для пропускания широкой полосы частот, емкость контуров приходится выбирать малой, а при очень широкой, измеряемой в мегагерцах,— и совсем обходиться без конденсаторов в контурах, не считаясь при этом с ухудшением устойчивости формы резонансной кривой, так как получить необходимое усиление в широкополосных усилителях довольно трудно. Практически в усилителях промежуточной частоты радиовещательных приемников, пропускающих полосу 6—10 *кгц,* емкость контурных конденсаторов выбирают в пределах от 150 до 200 *мкмкф,* а в профессиональных и высококачественных любительских приемниках — в пределах от 400 до 800 *мкмкф.*

Индуктивность контурных катушек фильтров определяется выбранной емкостью и может быть подсчитана по формуле (7).

При налаживании приемника контуры полосовых фильтров подстраиваются в резонанс с помощью сердечников из магнитодиэлектрика, изменяющих в некоторых пределах индуктивности контурных катушек, или с помощью подстроечных конденсаторов.

Добротность контуров полосовых фильтров должна быть достаточно высокой, так как от этого в большой степени зависит избирательность приемника по соседнему каналу. Контурные катушки полосовых фильтров для промежуточной частоты 460 *кгц* и выше следует наматывать литцендратом (многожильный провод, состоящий из тонких изолированных друг от друга жилок) и для уменьшения потерь выполнять в виде двух—четырех секций с намоткой типа «универсаль», соединенных между собой последовательно. При промежуточной частоте 130 *кгц* и ниже контурные катушки можно наматывать одножильным проводом марки ПЭШО или ПШД 0,12—0,2.

Связь между контурами фильтра следует подобрать такой, чтобы резонансная кривая всего усилителя в целом имела форму, по возможности близкую к прямоугольной. Для усилителей с однотипными двухконтурными полосовыми фильтрами наивыгоднейшей считается резонансная кривая, у которой соотношение между минимальным ($K_{мин}$) и максимальным ($K_{макс}$) усилениями в полосе пропускания составляет 0,7 ($K_{мин} = 0{,}7K_{макс}$). При этом усилитель, обладая высокой избирательностью, вносит очень небольшие частотные искажения.

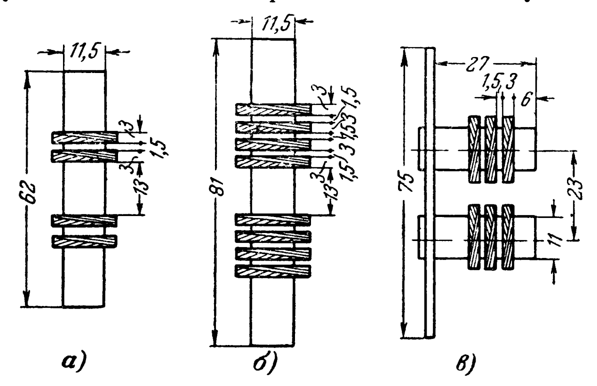
Следует иметь в виду, что в многоконтурном усилителе для получения указанной формы резонансной кривой соотношение между $K_{макс}$ и $K_{мин}$ для каждой пары контуров (одного фильтра) должно быть больше указанного. Оно зависит от общего числа пар контуров во всем усилителе. При двух парах контуров (включая и фильтр в анодной цепи преобразовательной ступени) необходимо, чтобы $K_{мин} = 0{,}84K_{макс}$; при трех — $K_{мин} = 0{,}89K_{макс}$; при четырех — $K_{мин} = 0{,}91K_{макс}$.

Если связь между контурами установить слишком слабой, то усиление, даваемое усилителем, окажется малым, а форма резонансной кривой — остроконечной. При слишком сильной связи полоса пропускания расширяется, а в резонансной кривой появляется глубокая впадина, что приводит к понижению избирательности и увеличению частотных искажений.

При налаживании усилителя может оказаться, что при заданной полосе провал в резонансной кривой получается слишком глубоким или вовсе отсутствует. В первом случае для уменьшения глубины провала нужно шунтировать контуры фильтров сопротивлениями, величины которых подбираются практически. Отсутствие провала объясняется недостаточно высоким качеством контуров полосовых фильтров. Так как улучшать добротность готовых контуров невозможно, то в этом случае придется примириться с некоторым ухудшением избирательности приемника и установить критическую связь, при которой резонансная кривая остается еще одногорбой, а усиление, даваемое усилителем,— максимальным.

Данные типовых полосовых фильтров на промежуточные частоты 1 600, 460 и 110 *кгц* приведены на фиг. 30 и в табл. 3 на стр. 79. Подстройка контуров осуществляется магнетитовыми сердечниками диаметром 9 *мм*.

Схемы с переменной полосой пропускания. Регулировать полосу пропускания приемника можно, перемещая одну из катушек каждого или части полосовых фильтров усилителя промежуточной частоты. При сближении катушек вслед-



Фиг. 30. Конструкция трансформаторов промежуточной частоты.
а — на 1 600 *кгц*; *б* — на 460 *кгц*; *в* — на 110 *кгц*.

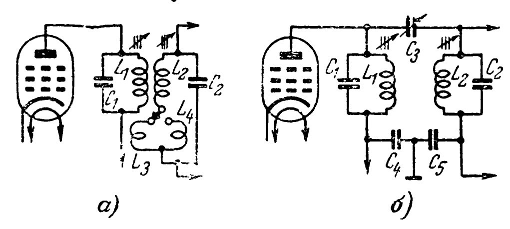
ствие увиличения связи между ними полоса пропускания усилителя расширяется, а при удалении вследствие уменьшения связи сужается. Однако, поскольку сделать одну из

Таблица 3

Параметры	Данные трансформаторов промежуточной частоты, *кгц*		
	$f_{np} = 1\,600$	$f_{np} = 460$	$f_{np} = 110$
Число витков катушки	62	280	795
Число секций	2	4	3
Число витков в секции	31	70	265
Провод	ЛЭШО 0,07×10	ЛЭШО 0,07×10	ПЭШО 0,1
Емкость конденсатора, *мкмкф*	150	120	180

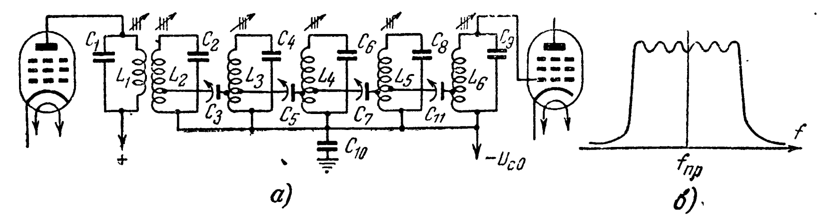
катушек подвижной конструктивно довольно трудно, полосу пропускания чаще всего изменяют ступенями, увеличивая или уменьшая связь между контурами. Для этого фильтр дополняют катушкой связи L_3 (фиг. 31,*а*), имеющей 3—10 витков такого же провода, как и основные контурные катушки, и расположенной около катушки L_1. При включении катушки L_3 последовательно с катушкой L_2 связь между

контурами увеличивается и полоса пропускания расширяется. Назначение катушки L_4 состоит в том, чтобы компенсировать изменение общей индуктивности контура L_2C_2, происходящее при отключении катушки L_3. Число витков ее должно быть таким же, как и катушки L_3. Располагается она около катушки L_2.



Фиг. 31. Схемы регулировки полосы пропускания.

На фиг. 31, *б* приведена схема усилителя с емкостной связью между контурами полосового фильтра. В таком усилителе полосу пропускания можно плавно изменять в широких пределах, меняя связь между контурами с помощью не-



Фиг. 32. Схема сосредоточенного полосового фильтра и его частотная характеристика.

большого конденсатора переменной емкости, имеющего максимальную емкость 30—50 *мкмкф*. При отсутствии конденсатора переменной емкости его можно заменить набором конденсаторов постоянной емкости. В этом случае полосу пропускания усилителя приходится изменять ступенями, переключая конденсаторы.

Методы повышения избирательности приемника. Значительно повысить избирательность приемника можно, применив в усилителе промежуточной частоты вместо обычных двухконтурных полосовых фильтров сосредоточенные электрические фильтры.

Сосредоточенный электрический фильтр (фиг. 32, *а*) представляет собой систему, в которой связаны между собой

не два, а несколько колебательных контуров. Применение таких фильтров позволяет повысить избирательность приемника не только за счет увеличения количества настроенных контуров, а также и за счет улучшения их качества. Объясняется это тем, что резонансная кривая многоконтурного фильтра является не двугорбой, а многогорбой, по числу входящих в него контуров (фиг. 32, *б*). Последнее резко уменьшает глубину провала в резонансной кривой, благодаря чему даже если фильтр содержит контуры очень высокого качества, неравномерность усиления в полосе пропускания получается весьма незначительной.

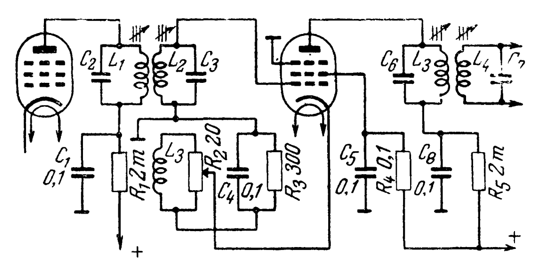
Для изготовления фильтра можно использовать контуры от любого трансформатора промежуточной частоты, настроенного на требуемую резонансную частоту. Связь между контурами удобнее всего сделать емкостной, использовав в качестве конденсаторов связи подстроечные конденсаторы емкостью 5 ÷ 30 *мкмкф* (фиг. 32, *а*). Конденсаторы подключаются к отводу, который делается примерно от середины контурных катушек. Если почему-либо отвод сделать невозможно, то конденсаторы связи (C_3, C_5, C_7, C_{11}) можно подключить к верхним концам катушек, находящихся под максимальным потенциалом промежуточной частоты. Однако в этом случае несколько труднее подобрать необходимую связь между контурами. Контуров в фильтре лучше всего взять 4—6. Если в приемнике используется только один сосредоточенный фильтр, то для предотвращения перегрузки ламп усилителя промежуточной частоты мощными сигналами мешающих радиостанций, для подавления которых избирательные свойства обычных двухконтурных полосовых фильтров недостаточны, его следует включать как связующее звено между преобразовательной ступенью и первой ступенью усиления промежуточной частоты.

В малоламповых супергетеродинах иногда для повышения чувствительности и избирательности применяют положительную обратную связь. Наиболее часто встречается схема, изображенная на фиг. 33, в которой катушка обратной связи L_3 включена в цепь катода лампы. Катушка обратной связи содержит обычно 20—25 витков и помещается вблизи катушки сеточного контура.

Основным недостатком усилителей промежуточной частоты с положительной обратной связью является то, что такие усилители очень неустойчиво работают. Малейшее изменение питающих напряжений приводит к резкому изменению чувствительности и избирательности приемника, а

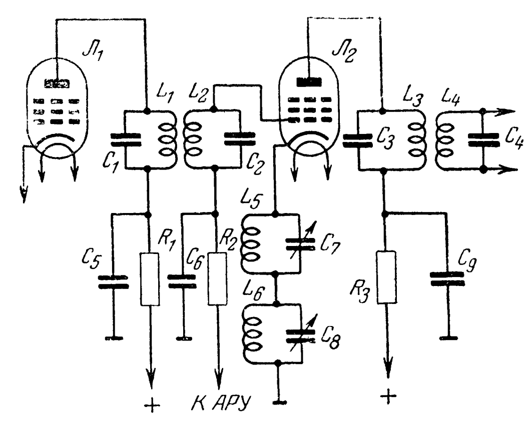
иногда и к самовозбуждению. Кроме того, применение положительной обратной связи приводит к появлению больших частотных искажений.

Некоторый интерес представляет схема ступени усиления промежуточной частоты, изображенная на фиг. 34, в кото-



Фиг. 33. Схема усилителя промежуточной частоты с положительной обратной связью.

рой для повышения избирательности приемника используется отрицательная обратная связь. В ней в катодную цепь лампы включены два последовательно соединенных колеба-



Фиг. 34. Схема усилителя промежуточной частоты с отрицательной обратной связью.

тельных контура L_5 C_7 и L_6 C_8, один из которых настраивается на частоту более высокую, а другой — более низкую, чем промежуточная частота. Переменная составляющая катодного тока лампы, проходя через эти контуры, создает на них переменные напряжения, которые, оказываясь приложенными к управляющей сетке лампы $Л_2$, уменьшают усиление ступени на их резонансных частотах. Изменяя одно-

временно настройки обоих контуров, можно в некоторых пределах регулировать полосу пропускания приемника. Эта схема дает хорошие результаты при приеме как телеграфных, так и телефонных радиостанций.

6. КВАРЦЕВЫЕ ФИЛЬТРЫ

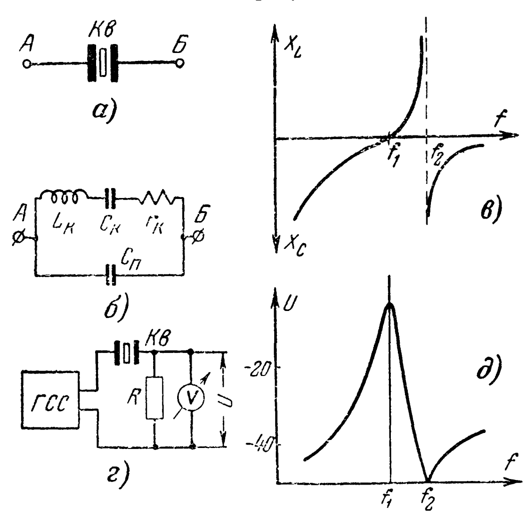
Общие сведения. Применяя в усилителе промежуточной частоты приемника положительную или отрицательную обратную связь, сосредоточенные электрические фильтры и понижая промежуточную частоту, практически удается сузить полосу пропускания приемника до 1,5—2 *кгц*. Для получения более узкой так называемой «телеграфной» полосы в усилителях промежуточной частоты современных коротковолновых приемников применяются кварцевые фильтры, с помощью которых удается сузить полосу до 100—300 *гц*. Кроме того, кварцевый фильтр обладает еще одним очень важным достоинством: он дает возможность «вырезать» мешающую радиостанцию даже в том случае, если ее частота всего на несколько десятков герц отличается от частоты принимаемой радиостанции.

Основным элементом кварцевого фильтра является кварцевая пластинка, надлежащим образом вырезанная из кристалла пьезокварца.

Кварц, как и некоторые другие кристаллы, обладает так называемым пьезоэлектрическим эффектом, сущность которого состоит в том, что при механическом воздействии на кристалл на его поверхности возникают электрические заряды и, наоборот, под влиянием переменного электрического поля в нем возникают механические колебания. Поэтому если кварцевую пластинку поместить между двумя электродами, как показано на фиг. 35, *а*, и к ним приложить переменное напряжение высокой частоты, то в ней под влиянием переменного электрического поля возникнут механические колебания с частотой приложенного напряжения, а на ее поверхности будут появляться электрические заряды.

Как и всякая упругая механическая система, кварцевая пластинка обладает собственной частотой механических колебаний, зависящей от ее геометрических размеров. Следовательно, при определенной частоте колебания пластинки станут наиболее интенсивными и на ее поверхности возникнут значительные переменные напряжения. Малейшее отклонение частоты поведет к резкому ослаблению интенсивности механических колебаний и возникших переменных на-

пряжений. Таким образом, кварц обладает весьма остро выраженными резонансными свойствами и в различных радиосхемах проявляет себя так же, как сложный настроенный колебательный контур, состоящий из последовательно соединенных индуктивности $L_к$, емкости $C_к$, активного сопротивления $r_к$ и параллельной емкости $C_п$, образованной емкостью кварцедержателя и соединитель-



Фиг. 35. Эквивалентная схема кварцевого резонатора и его характеристики.

а — схематическое изображение кварца в кварцедержателе; *б* — эквивалентная схема кварцевого резонатора; *в* — график зависимости реактивных сопротивлений кварцевого резонатора от частоты; *г* — схема для снятия частотной характеристики; *д* — частотная характеристика резонатора, нагруженного на активное сопротивление.

ными проводами (фиг. 35,*б*). Эквивалентные параметры этого контура несколько необычны: емкость $C_к$ измеряется долями микромикрофарады, а индуктивность $L_к$— единицами, десятками и даже сотнями генри. Так, например, данные кварцевой пластинки, настроенной на резонансную частоту 1,5 *мггц*, следующие: $L_к = 0{,}4$ *гн*, $C_к = 0{,}028$ *мкмкф* и $r_к = 35$ *ом*. Затухание такого контура $d = 0{,}00001$. Следовательно, кварц эквивалентен колебательному контуру с весьма малыми потерями.

Рассмотрим резонансные свойства цепи кварца. На фиг. 35,*в* приведен график зависимости реактивных

сопротивлений кварца от частоты. Здесь по горизонтальной оси отложена частота f, вверх — индуктивное сопротивление X_L, вниз — емкостное сопротивление X_C (активным сопротивлением пренебрегаем). Как видно из графика, при частотах ниже f_1 кварц проявляет себя, как емкость. С повышением частоты его емкостное сопротивление уменьшается и, наконец, при определенной частоте f_1, зависящей от параметров кварцевой пластинки, наступает последовательный резонанс цепи $L_к C_к$. Сопротивление между точками *А* и *Б* в этот момент становится минимальным. Затем, с повышением частоты, сопротивление цепи вновь быстро возрастает, но теперь уже кварц ведет себя не как емкость, а как индуктивность. На некоторой частоте f_2, близкой к частоте f_1 и зависящей от соотношения между емкостями $C_к$ и $C_п$, наступает параллельный резонанс сложного контура $L_к C_к$ и $C_п$. Для этой частоты сопротивление между точками *А* и *Б* становится очень большим. При дальнейшем повышении частоты кварц вновь ведет себя, как емкость. Таким образом, кварцевый резонатор обладает двумя резонансными частотами: частотой последовательного резонанса f_1, которую принято называть резонансной частотой кварца, и частотой параллельного резонанса f_2.

Если кварцевый резонатор включить в схему, как показано на фиг. 35,*г*, и снять зависимость напряжения на нагрузочном сопротивлении R от частоты генератора стандартных сигналов (ГСС), то эта зависимость будет иметь вид, показанный на фиг. 35,*д*. Максимум напряжения будет соответствовать частоте f_1, а минимум — частоте f_2.

Активное сопротивление R, включенное последовательно с кварцем и генератором, ухудшает добротность колебательной системы. Поэтому чем оно меньше, тем острее получается резонансная кривая. С увеличением R полоса частот, пропускаемая кварцевым резонатором, вначале расширяется, достигая максимума при значении сопротивления нагрузки 4 000—5 000 *ом*, после чего снова начинает сужаться. Вторичное сужение полосы объясняется наличием емкостной проводимости в цепи нагрузки (входной емкостью прибора, емкостью монтажа и т. п.).

В большинстве кварцевых фильтров, применяемых в приемных устройствах, кварц, как и в рассмотренной

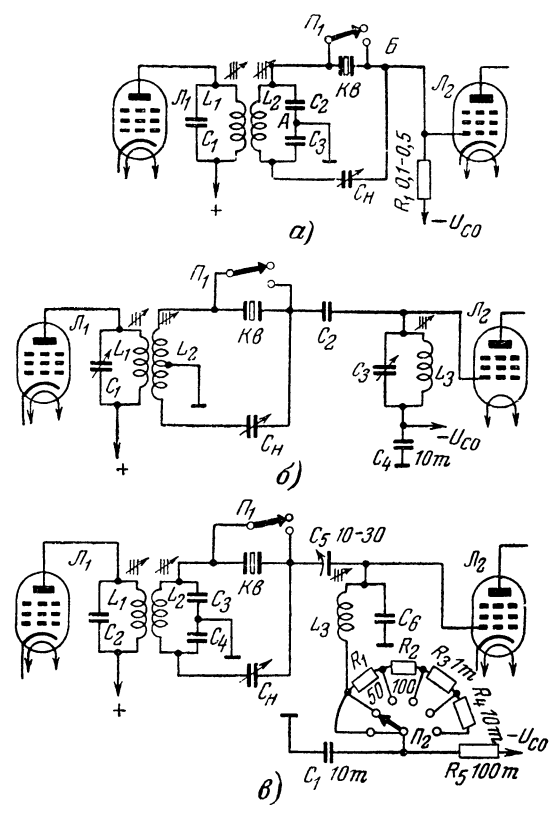
схеме, используется в качестве связующего звена между отдельными узлами устройства, причем место генератора стандартных сигналов в реальном фильтре занимает колебательный контур, а в качестве нагрузки включается активное сопротивление или колебательный контур.

Параллельная емкость кварцевого резонатора $C_п$ является вредной, так как она шунтирует кварц, уменьшая его сопротивление для частот, отличных от резонансной f_1, и этим значительно ухудшает избирательность приемника. Для улучшения избирательности кварцевого фильтра действие параллельной емкости $C_п$ тем или иным способом нейтрализуют. Наибольшее распространение получили следующие две схемы нейтрализации: включением кварца по схеме моста, в котором действие $C_п$ компенсируется с помощью специального нейтрализующего конденсатора, или подключением параллельно кварцу специального колебательного контура.

Фильтр по схеме моста. Схема простейшего мостового фильтра изображена на фиг. 36, *а*. Контуры L_1C_1 и $L_2C_2C_3$ настроены на резонансную частоту кварца. Напряжение, снимаемое со вторичной обмотки трансформатора с помощью емкостного делителя, состоящего из конденсаторов C_2 и C_3, делится пополам. Средняя точка *А* соединения конденсаторов обычно заземляется. Для того чтобы вторичный контур оказался настроенным в резонанс с первичным, емкость конденсаторов C_2 и C_3 при $L_1 = L_2$ должна быть в два раза большей, чем конденсатора C_1. Вместо емкостного можно сделать также и индуктивный делитель, заземлив среднюю точку катушки вторичной обмотки входного контура, как показано на фиг. 36,*б*. Противоположные концы вторичного контура (или обмотки) присоединяются к нагрузке R_1 в точке *Б* (фиг. 36,*а*): один — через кварц, а другой — через нейтрализующий конденсатор $C_н$. Емкость нейтрализующего конденсатора подбирается такой, чтобы ток, протекающий через него в цепь нагрузки, был равен току, протекающему в цепь нагрузки через емкость $C_п$, параллельную кварцу. Так как фазы этих токов противоположны, то их действие взаимно компенсируется, и напряжение на нагрузке определяется лишь током, проходящим через кристалл.

Возможность подавления сигнала мешающей радиостанции кварцевым фильтром обусловливается тем, что на некоторой частоте, называемой частотой бесконечного затухания и зависящей от емкости нейтрализующего конденса-

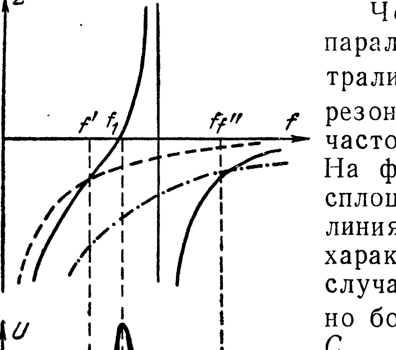
тора, фильтр имеет очень большое затухание. Изменяя емкость конденсатора $C_н$, можно так сбалансировать фильтр, что частота бесконечного затухания окажется равной частоте мешающей радиостанции, преобразованной в промежуточную частоту, и таким образом почти полностью «вырезать» помеху.



Фиг. 36. Схемы мостовых кварцевых фильтров.

На графике фиг. 37 (сверху) показана зависимость реактивных сопротивлений кварцевого резонатора и нейтрализующего конденсатора от частоты. Штриховой линией показана кривая емкостного сопротивления нейтрализующего конденсатора для случая, когда $C_н$ больше чем $C_п$, а штрих-пунктирной линией — когда $C_н$ меньше чем $C_п$. В некоторой точке, соответствующей

частоте f' или f'', реактивные сопротивления плеч моста оказываются равными между собой. Токи, протекающие через эти сопротивления, также равны между собой, но фазы их противоположны. В результате мост на этой частоте находится в равновесии, а напряжение на выходе фильтра равно нулю.



Фиг. 37. Влияние емкости нейтрализующего конденсатора на форму резонансной кривой фильтра.

Чем больше разница между параллельной емкостью $C_п$ и нейтрализующей $C_н$, тем ближе к резонансной частоте фильтра частота бесконечного затухания. На фиг. 37 (внизу) штриховой, сплошной и штрих-пунктирной линиями показаны частотные характеристики фильтра для случаев, когда $C_н$ соответственно больше, равно и меньше чем $C_п$.

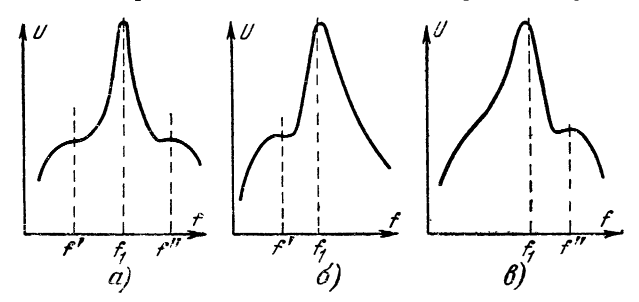
Некоторым недостатком такого метода подавления помехи является то, что во время регулировки частоты бесконечного затухания полоса пропускания фильтра и ее средняя частота несколько изменяются, так как емкость нейтрализующего конденсатора входит в общую емкость входного контура и влияет на его настройку.

Регулировка полосы пропускания. Регулировка полосы пропускания кварцевого фильтра производится путем изменения настройки входящих в него контуров полосового фильтра или путем введения в один из контуров активного сопротивления (фиг. 36,*в*). При этом происходит изменение формы резонансной кривой фильтра. В первом случае наиболее широкой полоса получается при настройке всех контуров фильтра точно на резонансную частоту кварца, а во втором — когда дополнительные сопротивления (R_1 — R_4 на фиг. 36, *в*) не введены в контур.

Если расстроить входной и выходной контуры фильтра в разные стороны, то его частотная характеристика будет иметь три максимума (фиг. 38,*а*): два крайних побочных

слабо выраженных, располагающихся вблизи резонансных частот f' и f'' этих контуров, и средний основной, выраженный очень ярко и расположенный так, что в него входит резонансная частота кварца f_1. Побочные максимумы отстоят по частоте сравнительно далеко от резонансной частоты кварца и существенного влияния на работу фильтра не оказывают, так как они малы и, кроме того, пропускаемые на их частотах сигналы подавляются остальными контурами приемника.

С увеличением расстройки контуров крайние максимумы отдаляются от резонансной частоты кварца, а средний ма-



Фиг. 38. Влияние расстройки контуров фильтра на его резонансную характеристику.

ксимум сужается, приобретая все более остроконечную форму. В результате при расстройке входного и выходного контуров фильтра его полоса пропускания сужается.

Чем больше разница между добротностью кварцевого резонатора и добротностью входного и выходного контуров, тем слабее выражены побочные максимумы. При малой добротности контуров боковые максимумы могут вообще отсутствовать, и частотная характеристика фильтра примет форму резонансной кривой обычного одиночного контура с очень высокой добротностью.

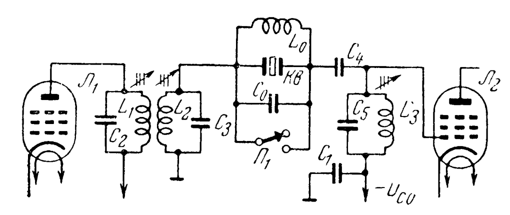
На фиг. 38,*б* и *в* показаны резонансные кривые фильтра в случае расстройки одного из его контуров. Такую же форму имеет резонансная кривая, когда в качестве нагрузки фильтра включен не колебательный контур, а активное сопротивление (входной контур расстроен).

При регулировке полосы пропускания фильтра расстройкой одного или обоих контуров в одну сторону следует учитывать, что средняя частота полосы пропускания его при этом несколько смещается от своего первоначального положения в сторону, противоположную смещению резонансной

частоты расстраиваемого контура, а сама кривая становится асимметричной.

В заключение следует отметить, что при таком способе регулировки полосы пропускания фильтра при небольшой расстройке контуров несколько повышается громкость приема.

Фильтр с подключенной параллельно кристаллу индуктивностью. Достоинством таких кварцевых фильтров является то, что даже на довольно низких частотах (до 200 *кгц*) они позволяют получить полосу пропускания шириной в несколько килогерц, вследствие чего их можно использовать в радиовещательных приемниках. В этом фильтре (фиг. 39)



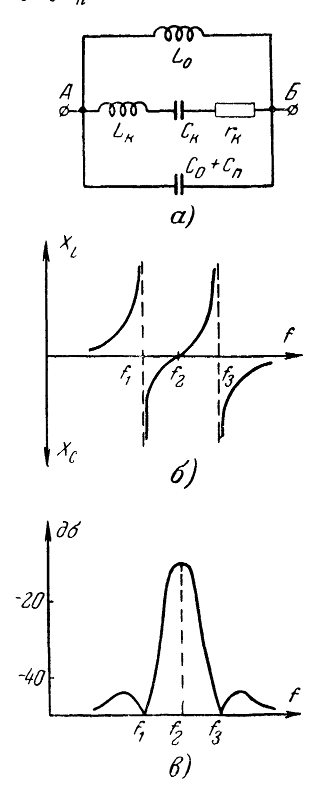
Фиг. 39. Схема кварцевого фильтра с компенсацией индуктивностью.

для нейтрализации емкости монтажа и кварцедержателя C_n параллельно кристаллу подключаются катушка индуктивности L_0 и конденсатор C_0. Эквивалентная схема получившегося сложного контура изображена на фиг. 40,*а*, а зависимость ее реактивных сопротивлений от частоты без учета потерь приведена на фиг. 40,*б*. Как видно из диаграммы, характер реактивных сопротивлений этой схемы несколько отличается от характера предыдущей. В данном случае система ведет себя вначале, как индуктивность, причем с повышением частоты индуктивное сопротивление ее возрастает, и при некоторой частоте f_1 наступает параллельный резонанс контура, составленного из индуктивности L_0 и соединенных параллельно с ней емкостей C_0, C_n и эквивалентной емкости цепи кварца. Сопротивление цепи между точками *А* и *Б* при частоте f_1 становится максимальным.

При дальнейшем увеличении частоты сопротивление цепи, получая емкостный характер, быстро уменьшается, и при частоте f_2 наступает последовательный резонанс цепи кварца $L_к C_к$. Сопротивление цепи между точками *А* и *Б* на этой частоте оказывается минимальным. Затем сопротивление цепи, принимая индуктивный характер, вновь растет, и при частоте f_3 наступает второй параллельный резонанс,

но теперь уже контура, составленного из эквивалентной индуктивности кварцевой цепи и параллельно соединенной с ней эквивалентной емкости контура $L_0C_0C_n$.

Таким образом, рассмотренный фильтр характеризуется двумя частотами бесконечного затухания, которые располагаются по обеим сторонам от резонансной частоты f_2 (как показано на фиг. 40,*в*).



Фиг. 40. Эквивалентная схема цепи кварца при компенсации индуктивностью и ее характеристики.
а — эквивалентная схема; *б* — график реактивных сопротивлений; *в* — частотная характеристика.

Точки бесконечного затухания располагаются симметрично относительно частоты f_2 в том случае, когда контур L_0C_0 настроен на частоту последовательного резонанса кварцевого резонатора. Расстояние между частотами бесконечного затухания зависит от соотношения между индуктивностью L_0 и емкостью C_0. Чем больше индуктивность и меньше емкость, тем дальше разнесены частоты бесконечного затухания, положе скаты резонансной кривой и шире полоса пропускания фильтра. При расстройке контура L_0C_0 одна из частот бесконечного затухания приближается к резонансной частоте кварца, а другая удаляется от нее.

Изменение частот бесконечного затухания с целью подавления мешающей радиостанции в этом фильтре можно производить изменением емкости конденсатора C_0, подключенного параллельно кристаллу. При этом обе седловины будут перемещаться в одном и том же направлении, а расстояние между ними будет расти.

Требуемая индуктивность L_0 подсчитывается по формуле

$$L_0 = \frac{2,53 \cdot 10^{10}}{f_2^2(C_n + C_0)}, \tag{34}$$

где емкости — *мкмкф* и частота f_2 — *кгц*.

Конструктивные особенности и налаживание. При изготовлении фильтра особое внимание следует обратить на качество его деталей. Контурные катушки фильтров с переменной полосой пропускания должны быть намотаны литцендратом и желательно, чтобы они имели магнитодиэлектрические сердечники. Конденсаторы следует брать с очень малыми потерями. Наилучшими являются воздушные, но можно также применять керамические и слюдяные конденсаторы. Неплохие результаты получаются с трансформаторами промежуточной частоты от фабричных приемников. В качестве индуктивности L_0 можно использовать контурные катушки этих трансформаторов. В качестве нейтрализующего конденсатора $C_н$ или параллельного C_0 лучше всего использовать воздушный подстроечный конденсатор емкостью от 5 до 20—30 *мкмкф*. В фильтре, предназначенном для пропускания только узкой полосы частот (100—300 *гц*), можно применять колебательные контуры, имеющие пониженную добротность. Остальные детали фильтра обычные.

При проектировании приемника необходимо продумать такое расположение его деталей, чтобы монтаж фильтра был выполнен возможно более короткими проводами. На переднюю панель приемника выводятся ручка нейтрализующего конденсатора $C_н$ (или включенного параллельно кварцу конденсатора C_0) и ручка регулировки полосы пропускания. С одной из этих ручек объединяется выключатель, закорачивающий кварц при приеме телефонных радиостанций. Весь фильтр следует заключить в экран.

Без больших переделок и изменений в схеме кварц может быть включен и в имеющийся готовый приемник. Наиболее удобной для этой цели является схема, приведенная на фиг. 36,*а*. Как видно из схемы, здесь придется лишь заменить конденсатор во вторичной обмотке трансформатора промежуточной частоты двумя последовательно соединенными конденсаторами вдвое большей емкости, изменить схему цепи АРУ и добавить выключатель кварца. Нейтрализующий конденсатор в этом случае на переднюю панель можно не выводить, установив его так, чтобы получить желательную форму резонансной кривой.

Настройка фильтра производится в следующей последовательности. Сначала на частоту кварца следует настроить все трансформаторы промежуточной частоты приемника. Для этого в случае отсутствия сигнал-генератора удобнее всего воспользоваться имеющимся кварцем, собрав с ним простей-

ший гетеродин. После настройки контуров кварц вынимается из гетеродина и включается в фильтр.

После включения кристалла контуры фильтра окажутся несколько расстроенными. Поэтому, установив нейтрализующий конденсатор $C_н$ в положение, при котором уровень шумов становится минимальным, необходимо вновь подстроить в резонанс трансформаторы фильтра. Ручка регулировки полосы при этом должна быть установлена на самую широкую полосу. Затем проверяется действие регулятора полосы: при узкой полосе сигналы телеграфных радиостанций слышны с характерным «кварцевым» звоном, а телефонная передача сопровождается большими искажениями. В случае, если фильтр не имеет регулировки полосы, его приходится сразу же настраивать на узкую полосу. Здесь после включения в схему кристалла и установки балансирующего конденсатора контур трансформатора следует слегка расстроить в сторону повышения частоты до получения желаемой полосы пропускания. При закорачивании кварца во время перехода на прием телефонных радиостанций входной контур окажется почти точно настроенным в резонанс, так как при этом несколько увеличится его емкость.

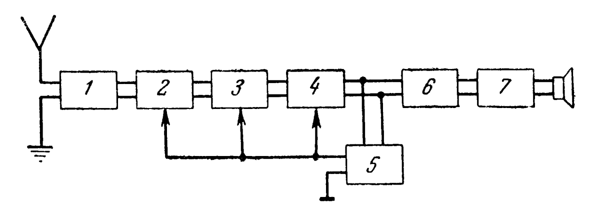
Односигнальный прием. В приемниках с кварцевым фильтром легко удается получить односигнальный прием и, таким образом, при приеме телеграфных радиостанций примерно в два раза сократить количество помех от соседних по частоте радиостанций. Сущность односигнального приема состоит в том, что при нем слышны не обе «боковые полосы» настройки, а лишь одна. Настраивая приемник на радиостанцию, вначале мы, как и обычно, слышим сигнал с высоким тоном биений, постепенно понижающимся до нулевых, но затем слышимость радиостанции резко ухудшается. При прохождении диапазона в противоположном направлении радиостанция обнаруживается неожиданно с низким тоном биений и сразу же с большой громкостью.

Односигнальность в приемниках с кварцевым фильтром достигается путем установки частоты бесконечного затухания на вторую «боковую полосу». Зеркальная частота биений, и без того сильно ослабленная из-за узкой полосы, оказывается при этом полностью вырезанной. Меняя частоту второго гетеродина и емкость нейтрализующего конденсатора, можно переносить «односигнальность» с одной боковой стороны принимаемой радиостанции на другую и, таким образом, отстраиваться от мешающей радиостанции.

7. АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ

Всевозможные автоматические регулировки, применяемые в современных радиоприемниках, значительно упрощают их обслуживание, делая их более удобными в эксплуатации. Наиболее широкое применение получила автоматическая регулировка усиления (АРУ), основным назначением которой является поддержание постоянства напряжения на выходе приемника при значительном изменении силы приходящего сигнала.

Скелетная схема приемника с АРУ показана на фиг. 41. В этой схеме выпрямленное специальным детектором или



Фиг. 41. Скелетная схема приемника с АРУ.

1 — входная цепь; 2 — усилитель высокой частоты; 3 — преобразовательная ступень; 4 — усилитель промежуточной частоты; 5 — выпрямитель АРУ; 6 — детектор; 7 — усилитель низкой частоты.

детектором приемника напряжение сигнала через особый фильтр поступает к усилительным ступеням, где подается в виде дополнительного отрицательного смещения на управляющие сетки усилительных ламп. В регулируемых ступенях применяются лампы, имеющие переменную крутизну характеристики. Поэтому подаваемое на их управляющие сетки дополнительное смещение, пропорциональное силе сигнала, автоматически изменяет даваемое ими усиление. Так, например, при возрастании сигнала на входе приемника усиление снизится настолько, что уровень сигнала на выходе останется почти неизменным.

Существует несколько различных схем АРУ. Схема простейшего способа автоматической регулировки усиления, так называемого АРУ без задержки, изображена на фиг. 42. В этой схеме выпрямленное детектором напряжение сигнала через фильтр, состоящий из сопротивления R_{11} и конденсатора C_{15}, поступает к управляющим сеткам усилительных ламп приемника. Фильтрующая цепь $R_{11}C_{15}$ предназначена задерживать токи звуковых частот. Назначение остальных дополнительных фильтрующих цепочек R_1C_2, R_6C_6

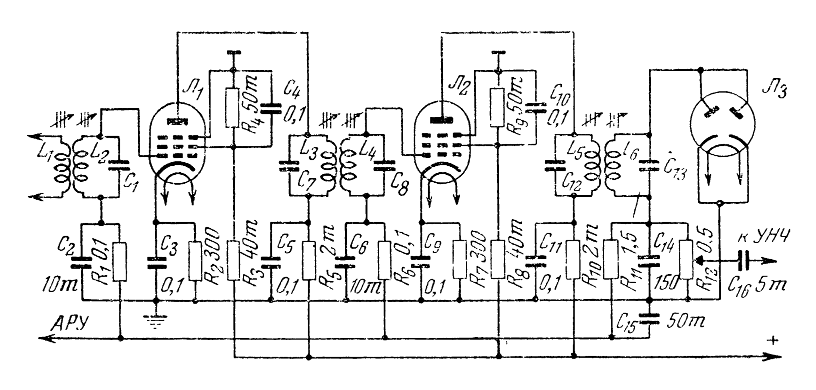
и т. д. состоит в том, чтобы предотвратить самовозбуждение приемника за счет нежелательных связей между ступенями, могущих появиться через цепь смещения.

Данные элементов фильтрующей цепи $R_{11}C_{15}$ для схемы фиг. 42 и всех последующих схем выбираются так, чтобы постоянная времени цепи τ для телефонной работы составляла 0,05—0,2 сек., а для телеграфной — 0,1—1 сек.:

$$\tau = R \cdot C, \qquad (35)$$

где τ — сек.; R — *мгом*; C — *мкф*.

Существенным недостатком рассмотренной схемы является то, что регулировка усиления в ней осуществляется

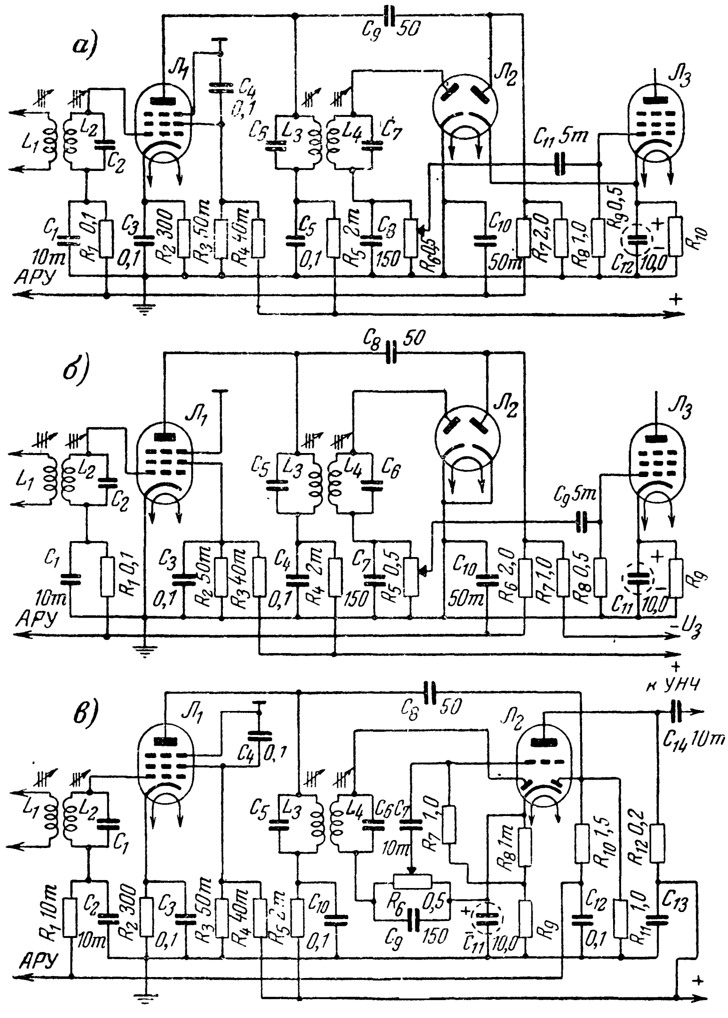


Фиг. 42. Схема АРУ без задержки.

при любом уровне сигнала, вследствие чего при приеме слабо слышимых радиостанций, когда чувствительность приемника должна быть максимальной, она фактически оказывается заметно пониженной за счет действия системы АРУ. Лучшие результаты дают схемы АРУ с задержкой, в которых система АРУ начинает действовать лишь в том случае, когда напряжение сигнала превышает определенный уровень.

На фиг. 43,*а* приведена схема АРУ с задержкой, в которой применен двойной диод $Л_2$ типа 6Х6. Левый диод лампы $Л_2$ используется как детектор приемника, а правый — как выпрямитель для АРУ. Наличие отдельного выпрямителя для системы АРУ позволяет снизить нелинейные искажения и, кроме того, упрощает налаживание системы.

Правый диод лампы $Л_2$ подключен не ко второму контуру L_1C_7 фильтра промежуточной частоты, а к первому контуру L_3C_6. Это дает возможность равномерно нагрузить оба кон-



Фиг. 43. Схемы АРУ с задержкой.

тура фильтра и, таким образом, избежать асимметрии резонансной кривой.

Нагрузкой выпрямителя АРУ является сопротивление R_8. Снимаемое с него выпрямленное напряжение че-

рез сопротивление R_7 фильтрующей цепи поступает к управляющим сеткам регулируемых ламп. На катод правого диода подается некоторое положительное напряжение, которое носит название напряжения задержки. До тех пор, пока напряжение сигнала, подводимого к диоду, не будет превышать напряжение задержки, напряжение на аноде диода останется отрицательным, вследствие чего последний окажется запертым, и система АРУ работать не будет. Только тогда, когда напряжение сигнала на диоде превысит напряжение задержки, диод откроется, и проходящий через сопротивление R_8 выпрямленный ток создаст на нем регулирующее напряжение. Таким образом, при слабых сигналах чувствительность приемника, в котором применена эта схема, не понижается. Положительное напряжение для задержки можно снять с сопротивления (или его части), включенного в катодную цепь лампы усилителя низкой частоты.

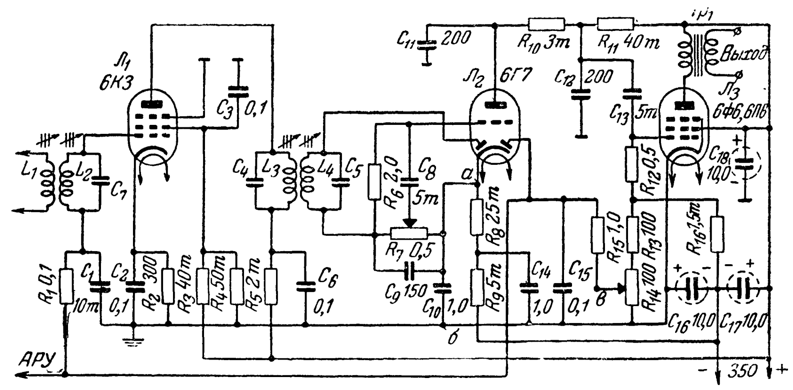
В том случае, когда напряжение задержки, требуемое для нормальной работы системы АРУ, оказывается равным напряжению смещения, подаваемому на сетки управляемых ламп, можно использовать схему, изображенную на фиг. 43,*б*. По принципу работы она не отличается от предыдущей схемы, однако вследствие того, что в ней к диоду АРУ подводится минус задерживающего напряжения, который одновременно поступает также и на управляющие сетки регулируемых ламп, здесь отпадает необходимость в подаче на последние отдельного напряжения смещения.

На фиг. 43,*в* приведена схема детектора АРУ с задержкой и ступени предварительного усиления низкой частоты, в которой используется лампа типа 6Г2 или 6Г7. Напряжение смещения на управляющую сетку лампы снимается с сопротивления R_8, а напряжение задержки — с обоих сопротивлений $R_8 + R_9$, включенных в цепь катода этой лампы. В остальном схема ничем не отличается от рассмотренных ранее.

В том случае, когда снимаемое с детектора напряжение оказывается недостаточным для регулировки или когда требования к постоянству выходного напряжения особенно жестки, применяют схемы усиленного АРУ с задержкой. Усиление может производиться как по высокой частоте, так и по постоянному току. В первом случае для усиления напряжения сигнала, поступающего на выпрямитель АРУ, в приемнике собирают дополнительную ступень усиления промежуточной частоты. Напряжение сигнала на управляющую

сетку лампы дополнительной ступени обычно снимают с первого контура последнего полосового фильтра. Естественно, что дополнительная ступень усиления промежуточной частоты цепью АРУ не охватывается. В остальном эта схема ничем не отличается от рассмотренных ранее, и поэтому более подробно мы на ней останавливаться не будем.

В схеме усиления по постоянному току, изображенной на фиг. 44, в качестве усилителя регулирующего напряжения используется лампа первой ступени усиления низкой частоты. На управляющую сетку этой лампы наряду с напряжением звуковой частоты, снимаемым с потенциометра регулятора громкости R_7, через сопротивление R_6 подается и постоянная



Фиг. 44. Схема усиленного АРУ с задержкой с усилением по постоянному току.

составляющая выпрямленного детектором напряжения сигнала. Таким образом, напряжение смещения на управляющей сетке лампы $Л_2$ изменяется пропорционально уровню сигнала, вызывая соответствующее изменение ее анодного тока. Анодный ток лампы, проходя через сопротивления R_8 и R_9, включенные в цепь катода, создает на них напряжение, изменяющееся обратно пропорционально уровню сигнала. Чтобы использовать это напряжение для авторегулировки, схему необходимо соответствующим образом сбалансировать: подобрать сопротивление R_9 так, чтобы напряжение на катоде лампы $Л_2$ (точка *а* на схеме) при отсутствии сигнала было равным нулю относительно шасси.

С появлением сигнала анодный ток лампы $Л_2$ будет уменьшаться, вызывая уменьшение падения напряжения на сопротивлениях R_8, R_9 и, следовательно, появление между точкой *а* и шасси некоторой разности потенциалов, пропор-

циональной уровню сигнала. Нетрудно убедиться, что потенциал точки *а* относительно шасси будет отрицательным, и поэтому возникшее напряжение можно использовать в целях авторегулировки.

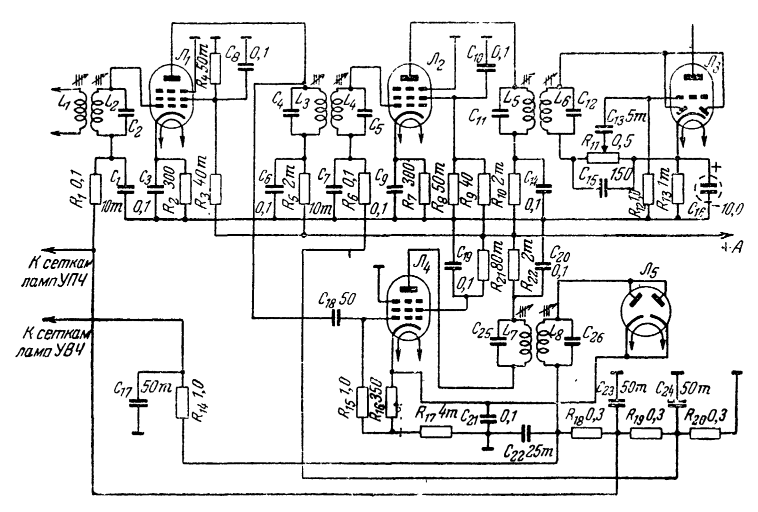
Для получения АРУ с задержкой используется правый (по схеме) диод лампы. На анод этого диода через сопротивление R_{15} подается отрицательное напряжение порядка —3 *в*, которое снимается с потенциометра R_{14} и, поступая также на сетки регулируемых ламп, является одновременно и начальным напряжением смещения. Таким образом, при отсутствии сигнала диод, имея на аноде по отношению к катоду потенциал, равный — 3 *в*, оказывается запертым. При наличии сигнала между точками *а* и *б* появляется некоторая разность потенциалов, которая возрастает с увеличением уровня сигнала. Однако до тех пор, пока потенциал точки *а* не превысит —3 *в*, анод диода будет иметь отрицательный потенциал по отношению к катоду, диод останется запертым и, следовательно, появившееся регулирующее напряжение к управляющим сеткам регулируемых ламп передаваться не будет. Лишь после того как регулирующее напряжение превысит напряжение задержки, диод откроется. Так как сопротивление диода для постоянного тока невелико, то напряжение на его аноде, поступающее к управляющим сеткам регулируемых ламп, в дальнейшем окажется равным регулирующему.

В том случае, когда напряжение задержки должно превышать —3 *в*, подбор сопротивления R_9 производится несколько иначе, чем в предыдущем случае. Дело в том, что увеличивать напряжение задержки путем повышения отрицательного потенциала на аноде диода $Л_2$ нецелесообразно, так как при этом увеличится начальное отрицательное смещение на управляющих сетках регулируемых ламп, вследствие чего резко понизится чувствительность приемника. Поэтому для создания требуемой разности потенциалов между анодом и катодом диода сопротивление R_9 следует подобрать таким, чтобы напряжение между точками *а* и *в* при отсутствии сигнала было равным требуемому напряжению задержки (ориентировочно 12—18 *в*). Это напряжение можно подсчитать, пользуясь приведенными ниже формулами.

Проектируя приемник с подобной системой АРУ, следует иметь в виду, что падение напряжения на сопротивлении R_{16} должно составлять примерно 80—90 *в*. Поэтому

выпрямитель к приемнику должен давать под нагрузкой напряжение 340—350 *в*. В качестве сопротивления R_{16} можно использовать обмотку подмагничивания динамика.

Наилучшие результаты дает схема усиленного АРУ с задержкой с раздельным усилением до детектора и раздельными выпрямителями, приведенная на фиг. 45. Особенностью этой схемы является то, что в ней лампа усилителя АРУ $Л_4$ подключена не к последней ступени усилителя промежуточной частоты, а к предпоследней, и регулирующее напряжение подводится не только к лампам ступеней, пред-



Фиг. 45. Схема усиленного АРУ с задержкой с усилением по промежуточной частоте.

шествующих выпрямителю АРУ, как было в ранее рассмотренных схемах, но и к лампе последующей ступени ($Л_2$). Благодаря этому последняя ступень усилителя промежуточной частоты не оказывает влияния на величину регулирующего напряжения. Это дает возможность получить характеристику АРУ близкой к идеальной.

Налаживание схемы (фиг. 45) сводится к точному подбору регулирующих напряжений и сопротивления R_{17}, определяющего напряжение задержки. На время регулировки сопротивления делителя (регулирующего напряжения) R_{18}, R_{19} и R_{20} удобнее заменить потенциометрами.

При расчете схем АРУ задаются обычно двумя величи-

нами: предполагаемым изменением напряжений на входе приемника

$$\frac{U_{вх\,макс}}{U_{вх.мин}} = m \qquad (36)$$

и допустимым изменением напряжения на его выходе

$$\frac{U_{вых.макс}}{U_{вых.мин}} = p. \qquad (37)$$

Расчет производится в следующей последовательности.

Вначале определяют изменение коэффициента усиления приемника, которое должна обеспечить система АРУ при максимальном изменении входного напряжения:

$$\frac{K_{макс}}{K_{мин}} = \frac{m}{p}. \qquad (38)$$

Затем строят кривую зависимости эквивалентной крутизны регулируемых ламп $S' = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \ldots S_n$ от напряжения на их управляющих сетках U_{c0}.

Построенная кривая должна быть сходной с кривой, приведенной на фиг. 46. Здесь по вертикальной оси отложена в логарифмическом масштабе эквивалентная крутизна S' в *ма/в*, а по горизонтальной оси—напряжение смещения в вольтах. Задаваясь исходным напряжением смещения (например, $U_{c0} = -3$ *в*), определяют по построенному графику для этого смещения эквивалентную крутизну $S'_{макс}$, которая будет соответствовать максимальному усилению, и затем подсчитывают эквивалентную крутизну, соответствующую минимальному усилению

$$S'_{мин} = \frac{S'_{макс}}{\frac{m}{p}}. \qquad (39)$$

Далее, пользуясь тем же графиком, по полученной $S'_{мин}$ определяют требуемое максимальное отрицательное смещение U_{c0}, соответствующее минимальному усилению, и затем подсчитывают регулирующее напряжение, которое должна развить система АРУ:

$$U_p = U_{c0\,макс} - U_{c0}. \qquad (40)$$

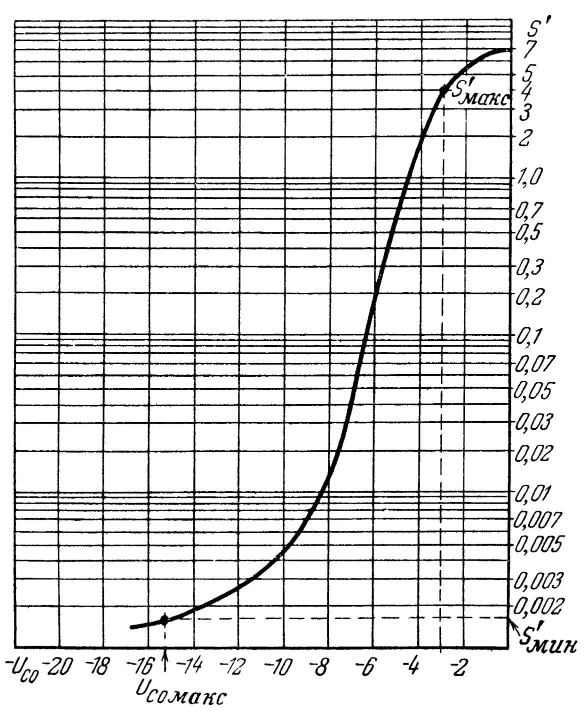
Напряжение задержки определяется по формуле

$$U_з = \frac{U_p}{p-1}. \qquad (41)$$

Минимальное переменное напряжение на входе выпрямителя АРУ

$$U_{д\ мин} = (1{,}05 - 1{,}1)\,U_з. \qquad (42)$$

В случае, если при заданном входном напряжении, определяемом чувствительностью приемника, не может быть



Фиг. 46. График эквивалентной крутизны.

получено требуемое для регулировки напряжение промежуточной частоты, следует, если возможно, увеличить число регулируемых ступеней или применить усиленное АРУ. Расчет усиленного АРУ производится аналогично рассмотренному, но с учетом дополнительного усиления. Данные деталей схемы усиленного АРУ рассчитываются так же, как и для подобных узлов схем приемника.

8. ИНДИКАТОРЫ НАСТРОЙКИ

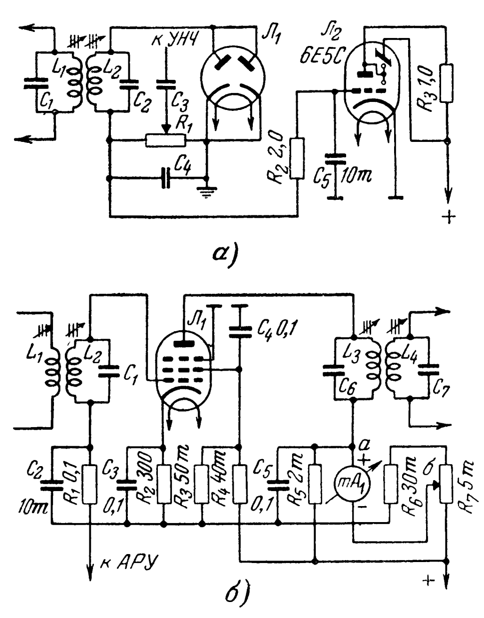
Автоматическая регулировка чувствительности, применяемая, как правило, во всех современных коротковолновых приемных устройствах, значительно затрудняет точную настройку приемника по слуху. Причина этого заключается в том, что при неточной настройке приемника падение усиления, вызываемое расстройкой его контуров относительно принимаемого сигнала, компенсируется действием АРУ. Для того чтобы точно и быстро настраиваться на принимаемую радиостанцию, в приемниках, имеющих систему АРУ, обычно устраивают специальные визуальные индикаторы настройки, в которых резонанс создает тот или иной зрительный эффект.

Существует большое число различных типов визуальных индикаторов, однако в настоящее время наиболее широкое распространение в радиовещательной аппаратуре получили электронно-лучевые, а в специальной — стрелочные индикаторы настройки.

В любительских коротковолновых приемниках, предназначенных для радиосвязи, также возможно применение тех или иных визуальных индикаторов настройки. Естественно, конечно, что пользоваться индикатором настройки при приеме телеграфных радиостанций нецелесообразно, так как в условиях большого количества сильных помех, характерных для любительских диапазонов, при приеме слабой радиостанции идикатор будет реагировать не на полезный сигнал, а на помеху. При приеме телефонных радиостанций индикатор будет работать нормально, помогая производить быструю и точную настройку и, кроме того, будучи отградуирован по 9-балльной шкале или по уровню входного напряжения, позволит объективно определить слышимость принимаемой радиостанции.

Наиболее часто применяемая схема включения электронно-лучевого индикатора типа 6Е5С приведена на фиг. 47,*а*. На сетку лампы индикатора $Л_2$ подается постоянное напряжение, развиваемое детектором на нагрузочном сопротивлении R_1. Для того чтобы отфильтровать переменную составляющую продетектированного напряжения, в цепь сетки включен фильтр, состоящий из сопротивления R_2 и конденсатора C_5. Напряжение на экране имеет постоянный потенциал, а на аноде и управляющем электроде зависит от анодного тока лампы, создающего падение напряжения на сопротивлении R_3. Более подробно останавливаться на этой схеме мы не будем, так как она хорошо известна радиолюбителям.

В схемах со стрелочными индикаторами настройки большей частью используются цепи АРУ и одна из ламп усилителя промежуточной частоты. Одна из подобных схем приведена на фиг. 47,*б*. В этой схеме прибор включен в диагональ моста, одно плечо которого образовано внутренним сопротивлением лампы $Л_1$ и сопротивлением R_5, а другое — сопротивлениями R_6 и R_7. Сопротивление R_7 делается пере-



Фил. 47. Схемы индикаторов настройки.
а — электронно-лучевого; *б* — стрелочного.

менным, и с его помощью производится балансировка моста или, иначе говоря, установка прибора на нуль при отсутствии сигнала. Кроме того, в тех случаях, когда чувствительность прибора оказывается чрезмерно высокой и его стрелка при приеме громко слышимых радиостанций уходит за шкалу, прибор шунтируют сопротивлением, величина которого подбирается практически.

Работа схемы происходит следующим образом. При настройке на радиостанцию на управляющей сетке лампы $Л_1$ появляется дополнительное отрицательное напряжение, поступающее от выпрямителя АРУ. Вследствие того что напряжение смещения увеличивается, возрастает внутреннее сопротивление лампы $Л_1$, уменьшается ее анодный ток

и, следовательно, происходит нарушение балансировки схемы. Возникающее в результате нарушения балансировки напряжение между точками *а* и *б* (фиг. 47,*б*) оказывается пропорциональным уровню сигнала на контуре детектора и достигает наибольшей величины в момент точной настройки на принимаемую радиостанцию.

9. ПОДАВИТЕЛИ ПОМЕХ

В настоящее время благодаря высокому уровню развития ламповой техники основным фактором, ограничивающим дальность действия приемной радиостанции, является не столько чувствительность приемника, сколько уровень всякого рода помех, определяющих минимальную напряженность поля от полезного сигнала, необходимую для получения удовлетворительного приема. Практика показывает, что необходимое для удовлетворительного приема соотношение напряжений полезного сигнала и помехи в большой степени зависит от вида радиосвязи. В табл. 4 приводятся эти соотношения.

Таблица 4

Род работы	Отношение сигнала к помехам							
	Едва удовлетворительный прием				Вполне хороший прием			
	раз		*дб*		раз		*дб*	
	от	до	от	до	от	до	от	до
Телеграфный прием на слух	0,5	2	—6	6	2	3	6	10
Прием на ондулятор	2	3	6	10	3	10	10	20
Буквопечатающий прием	5	10	14	20	18	30	25	30
Коммерческая телефония	3	6	10	16	18	56	25	35
Радиовещание	5	10	14	20	30	100	30	40

Различают три основных вида помех: атмосферные, промышленные и внутренние шумы приемника. Последние возникают в самом приемном устройстве. В больших городах минимальная напряженность поля, необходимая для удовлетворительного приема, определяется в основном уровнем промышленных помех. В сельских местностях на волнах длиннее 20 *м* главную роль играют атмосферные помехи, а на волнах короче 20 *м* необходимая напряженность поля определяется внутренними шумами приемника.

По своему характеру все виды помех могут быть разбиты на две группы: так называемые «гладкие» и импульсные помехи. Гладкими называются помехи, создающие на контурах приемника колебательное напряжение, амплитуда которого изменяется не более чем в 3—4 раза. Импульсными называются помехи, создающие на контурах приемника колебания с амплитудой, меняющейся в широких пределах. Промышленные помехи носят преимущественно импульсный характер. Атмосферные помехи могут быть обоих видов. Внутренние шумы всегда относятся только к разряду гладких помех.

Уменьшив тем или иным способом мешающее действие помех, можно значительно улучшить качество приема и тем самым повысить надежность работы линии радиосвязи. Борьбу с помехами по возможности ведут как в месте их возникновения, так и в месте приема путем установки особых антишумовых антенн и применения в самом приемнике специальных помехоподавляющих устройств. Здесь мы остановимся лишь на последнем способе, так как первые два выходят из рамок настоящей книги.

Борьба с гладкими помехами внешнего происхождения может вестись лишь путем сокращения полосы пропускания приемника. Особенно действенна эта мера при радиолюбительском телеграфном обмене, когда передача производится незатухающими колебаниями, а скорость обмена мала. Сузив полосу приемника до сотни герц, можно по сравнению с обычно принятой полосой получить выигрыш в отношении сигнал-помеха до 7—8 раз.

Борьбу с внутренними шумами приемника следует вести двумя путями: путем уменьшения эффективности действия внутренних шумов сужением полосы пропускания приемника и путем фактического уменьшения уровня внутренних шумов, что достигается применением высококачественных деталей и рациональным выбором схемы приемника и ламп

Собственные шумы в приемнике возникают вследствие хаотического движения электронов в отдельных его цепях. Источниками шумов являются активные сопротивления, колебательные контуры и электронные лампы. Вследствие того что шумы занимают чрезвычайно широкий спектр частот, уровень их на выходе приемника зависит не только от их интенсивности, но также и от полосы пропускания приемника.

Причиной возникновения шумов в активных сопротивлениях и в колебательных контурах является тепловое движе-

ние электронов. Естественно поэтому, что чем больше сопротивление источника шума и выше его температура, тем бо́льшим будет уровень возникших шумов. Уровень шумов контура можно подсчитать, пользуясь следующей формулой:

$$U_{шк} = \frac{1}{8}\sqrt{Z \cdot \Delta f}, \qquad (43)$$

где $U_{шк}$ — уровень шумов, *мкв*, Z — резонансное сопротивление контура (или активного сопротивления), *ком*; Δf — полоса пропускания приемника, *кгц*.

Внутриламповые шумы вызываются неравномерностью вылета электронов из катода, вторичной эмиссией электродов лампы, тепловым движением электронов в пространственном заряде и, наконец, влиянием ионизации. Часто при анализе собственных шумов радиоприемных схем и при технических расчетах напряжение внутренних шумов из анодной цепи лампы пересчитывают в ее сеточную цепь, условно считая при этом, что сама лампа не создает никакого шума и что шумовой ток в ее анодной цепи возникает лишь вследствие воздействия некоторого эквивалентного напряжения шумов на ее управляющую сетку. Такой условный перенос источника шума в сеточную цепь называется «приведением шума к сетке лампы». Приведенное напряжение шумов, вычисленное для полосы частот в 1 *кгц*, называется удельным или эквивалентным напряжением шумов на сетке и обычно приводится в таблицах.

Эквивалентное напряжение шумов является параметром лампы, характеризующим ее шумовые свойства. Конечно, значение этого параметра зависит не только от типа лампы, но и от режима ее работы. Иногда вместо эквивалентного напряжения шумов в таблицах приводят так называемое эквивалентное сопротивление шумов, т. е. указывают величину сопротивления, между концами которого действует напряжение шумов, уровень которого равен эквивалентному напряжению шумов лампы.

В табл. 5 приведены эквивалентное напряжение шумов на сетке и эквивалентное сопротивление шумов для ламп различных типов.

Уровень собственных шумов приемника определяется главным образом суммарным уровнем шумов, возникающих на первом контуре и в первой лампе. Последующие контуры и лампы сравнительно мало влияют на соотношение между сигналом и помехой, так как и сигнал, и помеха, будучи

Таблица 5

Тип лампы	Применение лампы	Напряжение, *в*			Ток, *ма*			Эквивалентное сопротивление шумов, *ком*	Эквивалентное напряжение шумов, *мкв*
		на аноде	на экранной сетке	смещения	анода	экранной сетки	катода		
6С2С	Триод-усилитель	250	—	—8	9,0	—	9,0	0,96	0,12
6Ф5	Триод-усилитель	250	—	—2	0,9	—	0,9	3,3	0,23
6С1Ж	Триод-усилитель	180	—	—5	4,5	—	4,5	1,25	0,14
6Ж4	Триод-усилитель	150	150	—2	—	—	12,5	0,22	0,019
К7	Пентод-усилитель	250	100	—3	7,0	1,7	8,7	14,0	0,47
К3	Пентод-усилитель	250	100	—3	9,2	2,4	11,6	10,5	0,4
6Ж7	Пентод-усилитель	250	100	—3	2,0	0,5	2,5	8,0	0,35
6Ж8	Пентод-усилитель	250	100	—3	3,0	0,8	3,8	5,8	0,3
6К4	Пентод-усилитель	250	125	—1	11,8	4,4	16,2	3,3	0,23
6Ж4	Пентод-усилитель	300	150	—2	10,0	2,5	12,5	0,72	0,11
6Ж3П	Пентод-усилитель	250	150	—8	7,0	2,0	9,0	1,6	0,16
6Ж1П	Пентод-усилитель	—	—	—	—	—	—	1,9	0,17
6Ж3	Пентод-усилитель	250	150	—1	10,8	4,1	14,9	3,0	0,22
6К1Ж	Пентод-усилитель	250	100	—3	5,5	1,8	7,3	9,4	0,38
СО-182	Пентод-усилитель	240	100	—1	7,0	2,25	9,25	2,75	0,21
6С2С	Триод-смеситель	100	—	—1*	2,1	—	2,1	6,5	0,32
6Ж4	Триод-смеситель	150	150	—1*	—	—	6,5	0,95	0,12
6С1Ж	Триод-смеситель	150	—	—1*	2,8	—	—	6,1	0,31
6Ж4	Пентод-смеситель	300	150	—1*	5,2	1,3	6,5	2,75	0,21
6К4	Пентод-смеситель	250	125	—1*	3,0	1,1	4,1	13	0,45
6К1Ж	Пентод-смеситель	250	100	—1*	2,3	0,8	3,1	33	0,72
6А7	Гептод-преобразователь	250	100	0	3,4	8,0	11,4	240	1,95
6А8	Гептод-преобразователь	250	100	—3	3,0	4,0	—	1 600	5,44
СО-183	Гептод-преобразователь	240	100	—3	6,0	10,0	16,0	165	1,6
6Л7	Гептод-смеситель	250	100	—3	2,4	7,1	9,5	255	2,0

* При пике колебательного периода.

усилены первой лампой, оказываются значительно выше, чем шумы, создаваемые в последующих ступенях приемника. Поэтому для уменьшения внутренних шумов приемника нужно особое внимание уделять конструкции его входного контура, выбору связи с антенной и выбору первой лампы.

Входной контур должен быть высокого качества, а связь его с антенной следует устанавливать достаточно сильной, так как при сильной связи повышается коэффициент передачи напряжения, а следовательно, улучшается соотношение между уровнем сигнала и собственными шумами.

Первая лампа должна обладать возможно меньшим эквивалентным напряжением (или сопротивлением) шумов. В коротковолновых приемниках, предназначенных специально для дальнего приема, хорошие результаты получаются в случае применения в первой ступени ламп типа 6Ж4, 6Ж3П, 6Ж7, 6Ж8 и т. п.

Суммарное эквивалентное напряжение шумов, возникающее на первом контуре и в лампе, отнесенное к управляющей сетке лампы $U_{шс}$, подсчитывается по формуле

$$U_{шс} = \sqrt{U^2_{шк} + U^2_{шл}}. \qquad (44)$$

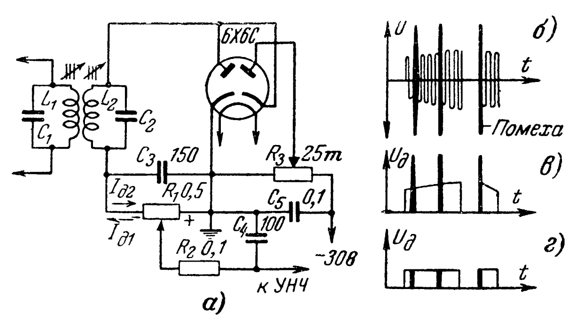
Пользуясь этой формулой, а также табл. 4 и 5, нетрудно определить предельную чувствительность, которую может иметь приемник при заданном виде работы, выбранном типе первой лампы и данном качестве входного контура.

Борьба с импульсными помехами, возникающими от систем зажигания в двигателях внутреннего сгорания, телефонных аппаратов АТС, электрических звонков, грозовых разрядов и т. п., представляющими собой кратковременные электрические импульсы продолжительностью не более 0,001 сек., осуществляется посредством специальных помехоподавляющих устройств.

Существует много различных схем, подавляющих импульсные помехи. Из них наилучшие результаты дают схемы, работающие перед детекторной ступенью приемника или непосредственно после нее. По принципу действия эти схемы можно разделить на следующие группы: ограничители помех, т. е. схемы, ограничивающие амплитуду помехи до уровня наивысшей амплитуды сигнала, и схемы, вырезающие помеху или, иначе говоря, уменьшающие до нуля общее напряжение от помехи и сигнала на выходе приемника в момент действия помехи.

Схема простейшего ограничителя помех с ручной регулировкой порога ограничения показана на фиг. 48,*а*. Здесь левый диод лампы 6Х6С работает в качестве детектора приемника, а правый используется для ограничения. Регулировка порога ограничения осуществляется с помощью потенциометра R_3 путем изменения отрицательного напряжения, подаваемого на анод диода ограничителя.

Процесс ограничения происходит следующим образом. До тех пор, пока амплитуда переменного напряжения на контуре не превышает половины напряжения задержки ограничителя $U_{з0}$, анод правого диода по отношению к катоду



Фиг. 48. Схема ограничителя помех и графическое пояснение принципа ее действия.

а — схема ограничителя помех; *б* — высокочастотное напряжение сигнала и помехи на входе детектора; *в* — напряжение на нагрузочном сопротивлении детектора при выключенном ограничителе помех; *г* — то же при включенном ограничителе.

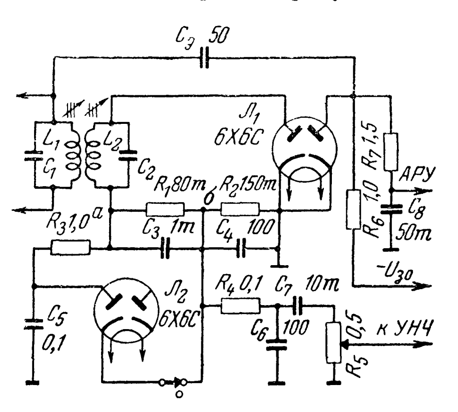
находится под отрицательным потенциалом, вследствие чего диод оказывается запертым и в работе детектора не участвует. Поэтому выпрямленный левым диодом ток промежуточной частоты $I_{д1}$, проходя через сопротивление нагрузки диода R_1 в направлении, указанном стрелкой на фиг. 48,*а*, создает на нем соответствующее напряжение, пропорциональное силе приходящего сигнала.

При возрастании амплитуды напряжения на контуре L_2C_2 до величины, равной или большей половины отрицательного напряжения на аноде правого диода, последний отопрется, и выпрямленный им ток $I_{д2}$ потечет через ту же цепь нагрузки, но в направлении, противоположном току левого диода. Так как зависимость изменения силы тока от напряжения на аноде одинакова для обоих диодов, то общий ток в цепи, равный их разности, с дальнейшим увеличением напряжения на контуре изменяться не будет и, следова-

тельно, не будет изменяться (увеличиваться) и напряжение на сопротивлении нагрузки. Таким образом, максимальное напряжение на нагрузке не будет превышать половину задерживающего напряжения, т. е. будет ограничено.

Сущность действия ограничителя помех иллюстрируется фиг. 48,*б*, *в* и *г*. Наибольший эффект подавления помех ограничители дают при приеме телеграфных радиостанций, причем в этом случае они одновременно выполняют функции и автоматического регулятора громкости.

Ограничители помех с постоянным по времени порогом ограничения неудобны и не могут дать хороших результатов при приеме телефонных радиостанций. Объясняется это тем, что для предупреждения возможности возникновения значительных нелинейных искажений при изменении силы сигнала вследствие замираний порог ограничения приходится выбирать в несколько раз бо́льшим, чем максимальная амплитуда сигнала при пике модуляции. Кроме того, они неудобны, так как при перестройке приемника на новую радиостанцию с иной слышимостью приходится изменять ограничивающее напряжение. Их применение может быть оправдано только благодаря чрезвычайной простоте устройства.



Фиг. 49. Схема ограничителя помех с меняющимся порогом ограничения.

Заметно лучшие результаты при приеме телефонных радиостанций дают ограничители, в которых порог ограничения не постоянен, а автоматически изменяется в соответствии с уровнем несущей или амплитудой огибающей кривой приходящего сигнала. Одна из схем ограничителей подобного типа изображена на фиг. 49.

В приведенной схеме левый диод лампы $Л_1$ выполняет роль детектора приемника, правый диод работает как, выпрямитель АРУ, а левый диод лампы $Л_2$ служит для ограничения амплитуды напряжения на выходе детектора.

Нагрузка детектора разбита на две части и состоит из последовательно соединенных сопротивлений R_1 и R_2. Основ-

ной рабочей частью нагрузки, с которой снимается полезное напряжение звуковой частоты и через которое, как и в предыдущей схеме, проходит ток ограничивающего диода, является сопротивление R_2. Сопротивление R_1 служит лишь для того, чтобы совместно с сопротивлением R_2 создать требуемое напряжение для установления порога ограничения.

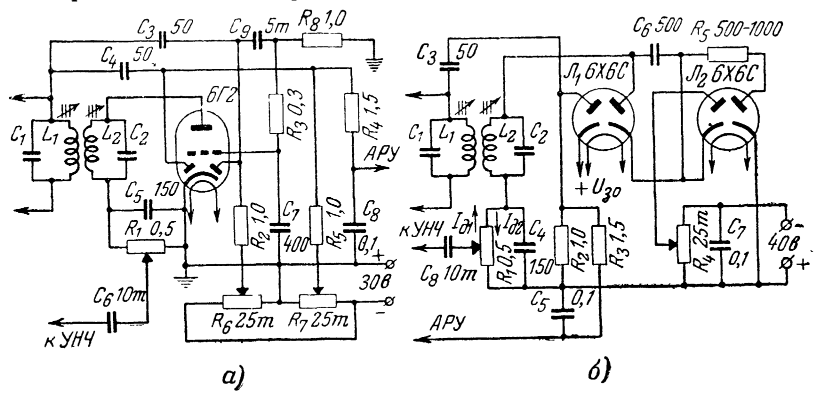
Необходимость в дополнительном сопротивлении R_1 объясняется тем, что, как мы уже видели, напряжение, требуемое для установления порога ограничения, должно быть равно не напряжению несущей, а удвоенной максимальной амплитуде напряжения сигнала. Следует отметить, что так как средняя глубина модуляции во время передачи обычно составляет около 30% и лишь в редких случаях достигает 70—80%, напряжение для установления порога ограничения большей частью выбирается значительно меньшим удвоенной максимальной амплитуды сигнала. Соответствующим подбором сопротивления R_1 нетрудно добиться того, что соотношение между напряжением ограничения, снимаемым с сопротивлений $R_1 + R_2$ (точка *а* на схеме), и амплитудой напряжения сигнала, снимаемого с делителя напряжения (точка *б*) и подводимого к катоду ограничивающего диода, окажется равным требуемому.

Цепь R_3C_5 является фильтрующей. Кроме того, через конденсатор C_5 проходят импульсы выпрямленного тока, создаваемого помехой. Работа остальных частей схемы ничем не отличается от аналогичных схем, рассмотренных ранее, а процесс ограничения подобен процессу, происходящему в предыдущей схеме, с той лишь разницей, что сопротивлением нагрузки для ограничивающего диода является не полное сопротивление нагрузки детектирующего диода $R_1 + R_2$, а лишь его часть R_2 ($U_{з0}$ на схеме — напряжение задержки для системы АРУ).

В устройствах второй группы импульс помехи кратковременно запирает тот или иной тракт приемника, фактически выключая его на время действия помехи. Этот метод борьбы с помехами основан на свойстве человеческого уха не ощущать кратковременных перерывов звука, если их продолжительность не превышает 1,4 *мсек.* а количество — 20 ÷ 30 раз в секунду.

Одна из схем простейшего подавителя помех этого типа приведена на фиг. 50,*а*. Здесь в качестве детектора приемника используется триодная часть лампы 6Г2 или 6Г7, а в качестве подавителя помехи — ее правый диод. На анод правого диода через сопротивление нагрузки R_2 подается

отрицательное запирающее напряжение, снимаемое с потенциометра R_6. Уровень этого напряжения должен быть равен амплитуде напряжения сигнала при пике модуляции, поступающего на вход детектора. Когда помеха отсутствует или ее уровень не превышает запирающего напряжения, правый диод лампы заперт, напряжение на сопротивлении R_2, а следовательно, и на управляющей сетке триода равно нулю и анодная цепь триода эквивалентна обычному диодному детектору. Когда появляется импульс помехи, превышающий запирающее напряжение, диод, подавляющий помеху, отпирается, и на сопротивлении R_2 появляется отрицатель-



Фиг. 50. Схемы подавителей импульсных помех, запирающих приемник на время действия помехи.

ный импульс, который через цепь C_9 R_3 передается на управляющую сетку триода, запирает его и тем самым прекращает на время действия импульса процесс детектирования сигнала. Левый диод лампы используется как выпрямитель АРУ с задержкой.

На фиг. 50,*б* приведена другая схема подавителя помех, запирающего приемник на время действия импульсной помехи. При ее внимательном рассмотрении нетрудно убедиться, что она отличается от схемы, приведенной на фиг. 48,*а*, лишь наличием дополнительного сопротивления R_5, включенного в анодную цепь правого диода лампы $Л_2$, и вспомогательного диода.

Работает эта схема следующим образом. До тех пор, пока амплитуда переменного напряжения на контуре L_2C_2 не превышает половины напряжения задержки ограничителя, которое снимается с потенциометра R_4, анод левого диода лампы $Л_2$ находится под отрицательным потенциалом

по отношению к катоду, диод остается запертым и в работе не участвует. Выпрямленный правым диодом ток промежуточной частоты $I_{\partial 1}$, проходя через сопротивление нагрузки R_1 в направлении, указанном стрелкой на схеме, создает на этом сопротивлении соответствующее напряжение, пропорциональное силе приходящего сигнала. Минус выпрямленного напряжения обращен к аноду, а плюс — к катоду диода. При возрастании амплитуды напряжения на контуре L_2C_2 до величины, равной половине отрицательного напряжения на аноде левого диода, последний откроется, и выпрямленный им ток $I_{\partial 2}$ потечет через ту же цепь нагрузки, но в направлении, противоположном направлению тока правого диода. Вследствие того что в анодную цепь диода (правого диода лампы $Л_2$) включено сопротивление R_5, его к. п. д. становится значительно меньшим, чем у диода ограничителя, и поэтому нарастание тока, выпрямленного последним, будет происходить значительно быстрее, чем выпрямленного первым. В результате суммарный ток в цепи нагрузки, равный разности обоих токов $I_{\partial 1} - I_{\partial 2}$, при дальнейшем возрастании напряжения на контуре будет не увеличиваться, а уменьшаться. Следовательно, уменьшаться будет и напряжение на нагрузке. Так как уровень импульсной помехи обычно в несколько раз превышает напряжение ограничения, напряжение на нагрузке в момент импульса резко падает до нуля и, если не принять специальных мер, может даже изменить знак на обратный. Чтобы этого не случилось, в схему включен дополнительный диод — правый диод лампы $Л_1$: в случае перемены направления тока на обратное этот диод разрывает цепь выпрямленного тока, в результате чего напряжение на нагрузке остается равным нулю.

Левый диод лампы $Л_1$ используется как выпрямитель АРУ с задержкой. Задерживающее напряжение подается на катод диода.

При приеме слабых телеграфных сигналов в условиях сильных помех от мешающих радиостанций помехоподавители, вырезающие помеху, малоэффективны, а иногда могут создать и дополнительные затруднения в приеме, запирая приемник при сильном сигнале от мешающей радиостанции. Поэтому собирать их целесообразнее лишь в приемниках, предназначенных для приема только телефонных радиостанций.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ РАДИОПРИЕМНИКОВ

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЕМНИКА

Прежде чем приступить к составлению схемы и постройке радиоприемника, необходимо решить вопрос, каким он должен быть. Последнее определяется как назначением приемника, так и квалификацией радиолюбителя.

Начинающему коротковолновику не следует сразу же браться за постройку сложного многолампового супергетеродина; лучше сначала собрать простейший приемник типа 0-V-0 или 0-V-1. Это даст ему возможность без большой затраты времени и средств, сразу же после освоения телеграфной азбуки и радиолюбительских кодов, приступить к изучению особенностей распространения коротких волн и тренировке в приеме радиостанций.

После накопления достаточного практического опыта можно будет приступить к постройке более сложного коротковолнового приемника, например по схеме 1-V-1 или супергетеродина.

Приемники прямого усиления. В любительских условиях коротковолновый приемник прямого усиления делать более сложным, чем по схеме 1-V-1 или 1-V-2, нецелесообразно, так как дальнейшее увеличение числа ступеней большого эффекта в отношении улучшения качества приема не дает, в то время как конструкция приемника, и особенно его налаживание, значительно усложняется. Целесообразнее собрать несложный коротковолновый супергетеродин, который легче построить и наладить и который даст лучшие результаты.

Схема входной ступени и усилителя высокой частоты приемника выбирается в зависимости от конструкции антенны, его рабочих волн и допустимой неравномерности усиления по диапазону. Так, в приемниках с широким диапазоном связь входного контура с антенной, так же как и связь анодного контура усилителя высокой частоты с лампой, лучше всего делать индуктивной. Если одним из основных требований является постоянство усиления во всем рабочем диапазоне частот, то связь контура с лампой следует делать индуктивно-емкостной. В приемниках с узкими диапазонами и отдельными контурными катушками для каждого поддиапазона в целях упрощения конструкции приемника связь

с антенной можно делать емкостной, а в усилителе высокой частоты применять непосредственное или автотрансформаторное включение контура. Переход с диапазона на диапазон желательно осуществлять с помощью переключателей. Это значительно повышает удобство пользования приемником. Последнее особенно важно при участии в различных соревнованиях. Кроме того, в усилителе высокой частоты полезно предусмотреть возможность ручной регулировки усиления.

Детекторную ступень приемника следует делать регенеративной. Практически наиболее удобной является схема с катодной связью и регулировкой обратной связи изменением напряжения на экранной сетке лампы. Но можно, конечно, применить и другие схемы. Для того чтобы во время соревнований можно было следить одновременно за работой нескольких корреспондентов, в детекторной ступени приемника полезно установить один-два небольших конденсатора переменной емкости, которые с помощью переключателя могли бы включаться вместо основного конденсатора настройки. Настроив приемник с помощью дополнительного конденсатора на интересующую нас радиостанцию, можно затем путем простого переключения конденсаторов быстро перестраиваться с одной радиостанции на другую и, таким образом, контролировать их работу.

В низкочастотной части приемника для приема телеграфных радиостанций желательно иметь несложный узкополосный фильтр, а для приема телефонных радиостанций — фильтр, срезающий интерференционные свисты.

Супергетеродинные приемники. При проектировании супергетеродинного приемника прежде всего следует наметить общие качественные показатели, которым он должен удовлетворять (чувствительность, избирательность по соседнему и симметричному каналам, полосу пропускания при приеме телефонных и телеграфных радиостанций, данные автоматических регулировок), выбрать схему подавителя помех, определить выходную мощность приемника и т. д. Затем необходимо составить скелетную схему приемника и решить следующие основные задачи: распределить усиление между отдельными ступенями приемника, выбрать промежуточную частоту, наметить схемы и данные преобразовательной ступени, усилителей высокой, промежуточной и низкой частот и т. д. После этого можно будет составить общую принципиальную схему приемника.

Чувствительность радиовещательных супергетеродинных приемников на коротковолновых диапазонах характеризуется примерно следующими данными: наиболее простых 400—500 *мкв,* среднего класса 200—300 *мкв* и высшего класса — около 50 *мкв.* Любительские коротковолновые приемники среднего класса, предназначенные для радиосвязи, должны иметь чувствительность порядка 30—50 *мкв,* а лучшие — не менее 2—3 *мкв.*

Избирательность приемника по соседнему каналу принято оценивать при расстройке его относительно несущей частоты на 10 *кгц.* Для супергетеродинных радиовещательных приемников среднего класса ослабление соседнего канала при указанной выше расстройке должно составлять не менее 20 раз (26 *дб*), а для приемников высшего класса — не менее 50 раз (34 *дб*).

Для любительских коротковолновых приемников среднего класса ослабление соседнего канала при телефонной работе должно составлять не менее 50—100 раз (34—40 *дб*), а высшего — не менее 1 000 раз (60 *дб*).

Ослабление симметричного канала в радиовещательном приемнике среднего класса на коротковолновых диапазонах составляет всего 4—5 раз (12—14 *дб*), а высокого класса — около 16—18 раз (24—25 *дб*). Избирательность по симметричному каналу любительских приемников для радиосвязи должна быть значительно выше: для приемников среднего класса ослабление симметричного канала должно составлять не менее 18 раз (25 *дб*), а высшего — не менее 100 раз (40 *дб*).

Требуемая полоса пропускания приемника всецело зависит от его назначения. В приемниках, предназначенных для приема передач радиовещательных станций, ее лучше всего делать переменной с пределами регулировки примерно от 6 до 12—15 *кгц*; в любительских приемниках для радиосвязи полоса пропускания должна регулироваться в пределах от 100—150 *гц* до 6—10 *кгц.*

Система автоматической регулировки усиления для приемников среднего класса должна обеспечить изменение напряжения на выходе приемника не более чем в 3—4 раза, а для приемников высшего класса не более чем в 1,5—2 раза при изменении напряжения на его входе в 1 000 раз.

Выходная мощность приемника может быть самой различной — от долей ватта до 10—20 *вт* — в зависимости от площади обслуживаемого помещения.

При составлении скелетной схемы приемника и распределения усиления между ступенями можно руководствоваться следующими примерными данными: усиление, даваемой входной цепью, оказывается обычно равным 3—5, ступенью усиления высокой частоты — 4 ÷ 25 (в зависимости от применяемой лампы и схемы усилителя), преобразовательной ступенью — 30 ÷ 50 и ступенью усиления промежуточной частоты — 40 ÷ 150 (в зависимости от качества и конструктивных особенностей контуров полосовых фильтров и выбранной промежуточной частоты).

Ослабление симметричного канала, даваемое одним контуром, настроенным на частоту сигнала (например, контуром входной цепи), в зависимости от его добротности при промежуточной частоте, равной 465 *кгц*, составляет ориентировочно 4—5 раз (12—14 *дб*), двумя контурами (например, контурами входной цепи и усилителя высокой частоты) — 16 ÷ 25 раз (24—28 *дб*), тремя контурами — 64 ÷ 125 раз (36—42 *дб*) и т. д.

Ослабление по соседнему каналу сильно зависит от выбранной полосы пропускания и качества контуров полосовых фильтров усилителя промежуточной частоты. Так, при промежуточной частоте, равной 465 *кгц*, и полосе пропускания приемника 6—7 *кгц* оно составляет примерно 4,5—5 раз (13—14 *дб*) на одну пару контуров (один двухконтурный полосовой фильтр), 20—25 раз (26—28 *дб*) на две пары контуров, 80—125 раз (38—42 *дб*) на три пары контуров и т. д. С понижением промежуточной частоты ослабление по соседнему каналу возрастает, а с повышением — уменьшается.

Выбирая промежуточную частоту, следует руководствоваться следующими соображениями:

1. Промежуточная частота не должна лежать в диапазоне принимаемых частот.

2. Чем ниже выбрана промежуточная частота, тем большее усиление можно получить от одной ступени усилителя и тем лучше, при прочих равных условиях, будет его избирательность. Однако следует иметь в виду, что при очень низкой промежуточной частоте возникает опасность появления помех со стороны симметричных радиостанций, а также радиостанций, работающих на частотах $f_г \pm f_{пр}/2$; $f_г \pm f_{пр}/3$ и т. д.

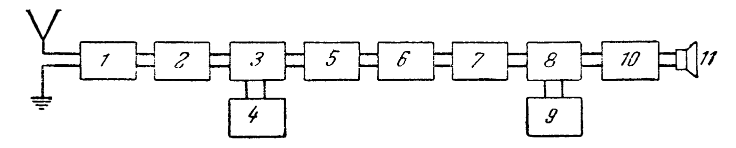
3. Чем выше промежуточная частота, тем легче бороться с перечисленными в п. 2 помехами, но избирательность при-

емника по соседнему каналу с увеличением $f_{пр}$ будет понижаться.

Обычно в коротковолновых приемниках применяют промежуточную частоту, равную 460—470, 730, 1 000, 1 600 *кгц* и др.

В любительских коротковолновых приемниках высшего класса для получения высокой избирательности по соседнему и симметричному каналам часто применяют двойное преобразование частоты. Скелетная схема такого приемника показана на фиг. 51.

В приемнике с двойным преобразованием частоты первая промежуточная частота выбирается сравнительно высокой (в пределах от 460 *кгц* до 3—4 *мггц*), благодаря чему



Фиг. 51. Скелетная схема приемника с двойным преобразованием частоты.

1 — входная цепь; 2 — усилитель высокой частоты; 3 — первый смеситель; 4—первый гетеродин; 5—усилитель первой (высокой) промежуточной частоты; 6 — второй преобразователь частоты; 7 — усилитель второй (низкой) промежуточной частоты; 8 — детектор; 9 — гетеродин для приема телеграфных радиостанций; 10 — усилитель низкой частоты; 11—громкоговоритель.

легко удается подавить симметричную помеху, а вторая промежуточная частота выбирается относительно низкой (50—130 *кгц*), так как при низкой $f_{пр}$ можно легко получить высокую избирательность по соседнему каналу. Первую преобразовательную ступень такого приемника желательно выполнить с отдельным гетеродином и для уменьшения собственных шумов приемника применить односеточное преобразование частоты. Во второй преобразовательной ступени нет необходимости в применении отдельного гетеродина. Здесь с успехом может быть использована одна лампа типа 6А7 или 6А8. Для повышения устойчивости частоты гетеродина второго преобразователя ее целесообразно стабилизовать кварцем. Кроме того, при конструировании приемника с двойным преобразованием частоты необходимо так выбрать первую промежуточную частоту, чтобы гармоники второго гетеродина, а также комбинационные частоты гетеродинов приемника не оказались в диапазоне принимаемых частот. В связи с этим приемник с двойным преобразованием

частоты желательно делать с узкими диапазонами. Остальные элементы схемы приемника обычны.

Распределяя усиление между ступенями приемника, следует иметь в виду, что при работе в условиях сильных помех усиление по высокой частоте не должно быть слишком большим, так как при большом усилении возросшее напряжение от помех может вызвать возникновение в преобразователе частоты различных специфических дополнительных помех и искажений. Возрастут при этом также и помехи со стороны радиостанций, работающих на частотах $f_г \pm f_{пр}/n$, где $f_г$ — частота гетеродина, а n — любое целое число. Однако, с другой стороны, чем большее усиление имеет приемник по высокой частоте, тем лучшим получается отношение сигнала к внутренним шумам приемника, а следовательно, и выше его чувствительность. Поэтому в коротковолновых приемниках, предназначенных для дальнего приема, желательно иметь отдельную ручку регулировки усиления по высокой частоте.

Обычно в приемниках с одним преобразованием частоты для получения достаточного предварительного усиления сигнала и обеспечения требуемого ослабления по зеркальному каналу применяют от одной до трех ступеней усиления высокой частоты, а в приемниках с двойным преобразованием — одну или две.

В любительских коротковолновых приемниках высшего класса целесообразно иметь две ступени усиления высокой частоты и две-три ступени усиления промежуточной частоты. Кроме того, в усилителе промежуточной частоты желательно установить кварцевый фильтр, а в усилителе низкой частоты — фильтр для вырезания интерференционных свистов и фильтр для сужения полосы при телеграфном приеме.

2. КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ КОРОТКОВОЛНОВЫХ ПРИЕМНИКОВ

К вопросам конструктивного оформления коротковолновых приемников и их монтажа нужно подходить особенно серьезно. Нередки случаи, когда причиной неустойчивой работы приемника являются небрежное механическое выполнение отдельных его узлов и неряшливый монтаж. Коротковолновый приемник должен обладать высокой механической прочностью, быть удобным в эксплуатации и при ремонте, допускать возможность быстрой проверки и регулировки и, наконец, иметь красивый внешний вид.

Шасси для приемника желательно применять металлическое, изготовив его из листового алюминия, дюралюминия, латуни, меди или мягкой стали толщиной 1—2 *мм*. Деревянные шасси, оклеенные станиолем, можно использовать только в простейших приемниках прямого усиления типа 0-V-0 и 0-V-1.

Особое внимание следует обращать на рациональное размещение деталей и правильность экранировки. Следует тщательно разделять экранами анодные и сеточные цепи в усилителях, а также одну ступень усиления высокой и промежуточной частоты от другой. Однако к экранированию контуров и особенно контурных катушек следует подходить осторожно. Не имеет смысла помещать каждую катушку в отдельный экран. Целесообразнее лишь отделять экранами друг от друга группы катушек, относящиеся к различным ступеням. В случае необходимости экранировать какую-либо из катушек экранирующий стакан нужно выбирать диаметром по крайней мере в 2 раза больше диаметра катушки.

Весьма желательной является экранировка всего приемника в целом. Эта мера особенно полезна при борьбе со всевозможными местными помехами. Если в приемнике смонтировано выпрямительное устройство, его силовой трансформатор желательно заключить в стальной экран, толщина стенок которого составляет 1,5—2 *мм*. Неплохо весь выпрямитель заключить в стальной чехол, имеющий лишь отверстия для выводов.

Основные требования, предъявляемые к монтажу,— надежность соединений, минимальные паразитные связи между цепями и минимальные потери. Поэтому соединительные провода, несущие токи высокой частоты, должны быть предельно короткими и по возможности не параллельными друг к другу. В высокочастотных цепях лучше всего применять голый или эмалированный монтажный провод диаметром 1—1,5 *мм*. В цепях питания и усилителях низкой частоты можно использовать изолированный провод с хлорвиниловой или какой-либо другой изоляцией. Подводку напряжения накала к подогревным лампам рекомендуется производить витым двойным проводом. Все соединения необходимо делать на пайках, причем паять нужно обязательно с канифолью, а не с кислотой или мастикой. Для того чтобы прием был устойчивым и не сопровождался дрожанием или перескакиванием настройки, монтаж приемника следует делать особенно жестким и прочным, широко используя все-

возможные крепежные приспособления. Различные мелкие детали, например сопротивления, конденсаторы и др., следует устанавливать группами на панельках из изоляционного материала, с вклепанными контактными лепестками, применять поддерживающие монтаж угольники и т. д. Наиболее чувствительной к качеству монтажа в приемнике прямого усиления является детекторная ступень с обратной связью, а в супергетеродинном приемнике — преобразовательная ступень (смеситель и гетеродин).

При монтаже приемника не рекомендуется использовать экраны и шасси в качестве проводников для цепей, несущих токи высокой частоты. Детали каждой ступени, подлежащие заземлению, должны с помощью монтажных проводников соединяться между собой в одной точке на шасси приемника. Таким образом, заземление деталей нужно сосредоточить в двух-трех точках на основном экране.

Ручки настройки приемника следует размещать на передней панели так, чтобы было удобно управлять приемником. Шкала должна быть легко читаемой.

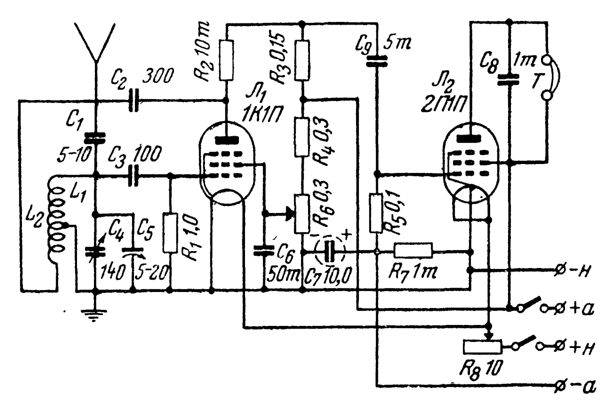
В любительских коротковолновых приемниках, предназначенных для дальнего приема, не следует сокращать количество ручек управления за счет исключения того или иного органа регулировки. Наоборот, для того чтобы использовать все возможности приемника, в нем желательно иметь возможно большее количество различных регулировок, а именно: ручку настройки, переключатель диапазонов, отдельные ручки регулировки усиления по высокой, промежуточной и низкой частотам, регулировку положительной обратной связи, ширины полосы пропускания приемника, фазировки кварца (при наличии кварцевого фильтра), регулировки порога ограничения подавителя помех, включения и выключения второго гетеродина, АРУ и т. д. Для сокращения общего числа ручек при том же количестве различных регулировок можно использовать комбинированные выключатели, сопротивления с выключателями и т. п. Не следует, однако, и слишком увлекаться числом ручек управления и заводить излишние малоэффективные регулировки.

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КОРОТКОВОЛНОВЫХ ПРИЕМНИКОВ

Батарейный 0-V-1. Этот приемник, имеющий диапазон волн от 10 до 200 *м*, прост по конструкции и предназначен для сельских радиолюбителей, желающих начать работу на коротких волнах.

Принципиальная схема приемника приведена на фиг. 52. Входная цепь представляет собой колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности L_1 и двух параллельно соединенных конденсаторов: переменной емкости C_4 и подстроечного C_5. Контур приемника связан с антенной через конденсатор C_1. Емкостная связь применена для упрощения конструкции приемника. Контурные катушки сменные.

Первая лампа $Л_1$ типа 1К1П работает в ступени сеточного детектора, причем для повышения чувствительности и избирательности приемника в этой ступени имеется положи-



Фиг. 52. Принципиальная схема батарейного приемника 0-V-1.

тельная обратная связь. Регулирование обратной связи производится путем изменения напряжения на экранной сетке лампы потенциометром R_6.

Катушка обратной связи L_2 подключается к аноду лампы через разделительный конденсатор C_2. Сопротивление R_2 поставлено вместо высокочастотного дросселя.

Вторая лампа $Л_2$ типа 2П1П работает усилителем низкой частоты. Отрицательное смещение на ее управляющую сетку снимается с сопротивления R_7, на котором оно образуется в результате падения напряжения от проходящего через него анодного тока обеих ламп.

Вместо ламп 1К1П и 2П1П в этом приемнике могут быть использованы лампы типа 2Ж2М, 2К2М и т. п.

Приемник можно собрать на деревянном шасси, имеющем вид коробки длиной 200, шириной 140 и высотой 50 *мм*. Спереди к шасси прикрепляют вертикальную панель, вырезанную из 3—5-*мм* фанеры. Для устранения влияния руки

оператора на настройку приемника панель с внутренней стороны экранируется тонким алюминием или фольгой от пробитых конденсаторов.

Контурные катушки приемника наматывают на цилиндрических каркасах диаметром 38 *мм*, которые укрепляют затем на карболитовых цоколях от испорченных стеклянных ламп. Все катушки наматываются виток к витку проводом ПШД 0,45—0,5, причем катушка L_2 выполняется как продолжение катушки L_1. Число витков катушек для диапазона волн от 10 до 200 *м* указано в табл. 6. Данные остальных деталей приведены на принципиальной схеме приемника.

Таблица 6

Диапазон волн, *м*	Число витков катушек	
	L_1	L_2
10—19	2	3
19—34	5	3
34—62	11	4
62—112	20	5
112—200	40	8

Монтаж приемника производится медным проводом диаметром 1,5—2,0 *мм*.

Правильно смонтированный приемник работает сразу же после сборки. Налаживание его сводится к получению устойчивой генерации по всему диапазону и к подгонке отдельных диапазонов. Первое осуществляется точным подбором сопротивления R_1 и места его подключения (к «плюсу» или «минусу» накала), второе — перемещением крайних витков контурных катушек. Для питания анодных цепей приемника нужна анодная батарея напряжением 60—120 *в*, а для цепей накала — один-два (в зависимости от типа применяемых ламп) сухих элемента.

Описанный приемник можно несколько усовершенствовать, установив в нем переключатель диапазонов любого типа, дающий нужное число переключений.

Вместо непрерывного диапазона в приемнике можно сделать несколько растянутых диапазонов. Как произвести растягивание отдельных участков коротковолнового диапазона, было подробно описано в гл. 1, п. 2.

Батарейный 1-V-1. Принципиальная схема приемника приведена на фиг. 53. Приемник содержит ступень усиления

высокой частоты, детекторную ступень с регулируемой обратной связью и ступень усиления низкой частоты. Лампы пальчиковой серии 1К1П и 2П1П в приемнике могут быть заменены лампами типа 2К2М, 2Ж2М и т. п.

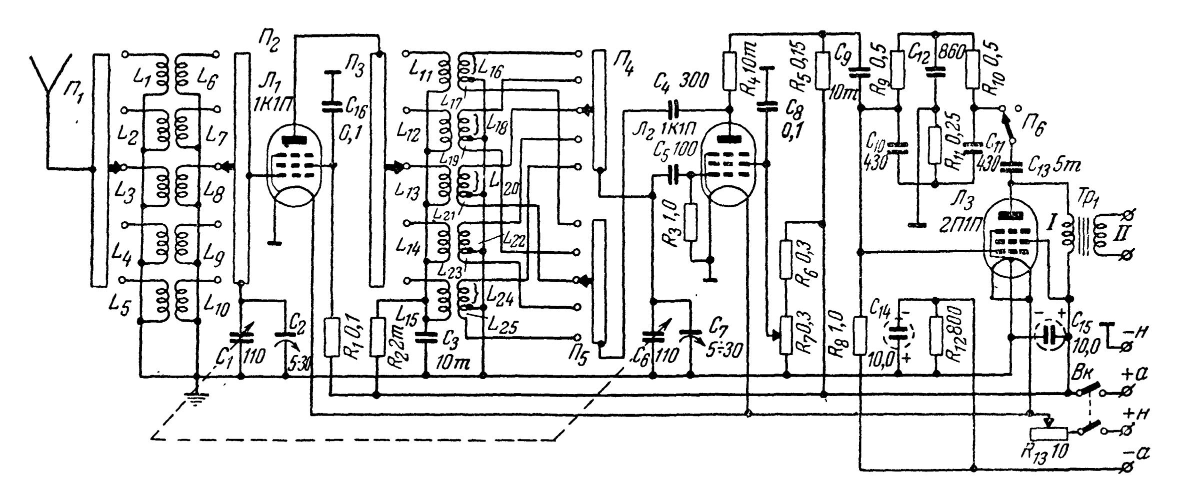
Связь входного контура с антенной, а также анодного контура усилителя высокой частоты с лампой — индуктивная. Весь диапазон приемника 10—200 *м* разбит на пять поддиапазонов. Настройка в пределах каждого поддиапазона производится агрегатом сдвоенных конденсаторов переменной емкости C_1 и C_6. Переход с одного поддиапазона на другой осуществляется с помощью переключателей $П_1$—$П_5$. Переключатель диапазонов — заводский трехплатный на пять положений с двумя контактными группами на каждой плате.

В усилителе низкой частоты имеется узкополосный фильтр, собранный по схеме моста и состоящий из сопротивлений R_9, R_{10}, R_{11} и конденсаторов C_{10}, C_{11}, C_{12}. Фильтр с помощью переключателя $П_6$ включается при приеме телеграфных радиостанций. В остальном схема приемника ничем не отличается от схемы описанного выше батарейного 0-V-1.

Контурные катушки приемника помещаются на цилиндрических каркасах диаметром 20 *мм*, причем катушки 112—200-метрового диапазона имеют намотку типа «универсаль», а остальные — однослойную с принудительным шагом. Все катушки связи наматываются виток к витку проводом ПЭ или ПЭШО 0,15. Число витков катушек и диаметр провода, которым они намотаны, приведены в табл. 7.

Таблица 7

Диапазон волн, *м*	Катушки	Число витков	Провод	Длина намотки, *мм*	Катушка	Число витков	Катушка	Число витков	Катушка	Число витков
10—19	L_6 и L_{16}	4	ПЭЛ 1,0	8	L_1	3	L_{11}	4	L_{17}	5
19—34	L_7 и L_{18}	9	ПЭЛ 0,5	8	L_2	5	L_{12}	8	L_{19}	5
34—62	L_8 и L_{20}	20	ПЭЛ 0,3	10	L_3	7	L_{13}	12	L_{21}	6
62—112	L_9 и L_{22}	36	ПЭЛ 0,2	Вплотную	L_4	10	L_{14}	20	L_{23}	8
112—200	L_{10} и L_{24}	72	ПЭЛ 0,2	—	L_5	12	L_{15}	30	L_{25}	12



Фиг. 53. Принципиальная схема батарейного приемника 1-V-1.

Расстояние между катушками L_1—L_5 и катушками L_6—L_{10}, а также между катушками L_{11}—L_{15} и катушками L_{16}—L_{25} составляет 3—4 *мм*. Катушки L_{11}—L_{15} располагаются со стороны сеточных концов катушек L_{16}—L_{25}. Катушки L_{17}, L_{19}, L_{21}, L_{23} и L_{25} являются продолжением катушек L_{16}, L_{18}, L_{20}, L_{22} и L_{24}.

Выходной трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пластин Ш-12. Толщина набора пластин 15 *мм*. Первичная обмотка трансформатора содержит 3 000, а вторичная — 2 000 витков провода ПЭЛ 0,1. Данные остальных деталей приведены на схеме.

Приемник монтируется на металлическом шасси размерами 250 × 150 × 50 *мм*. Контурные катушки входной цепи и анодных контуров усилителя высокой частоты должны быть отделены друг от друга экранами.

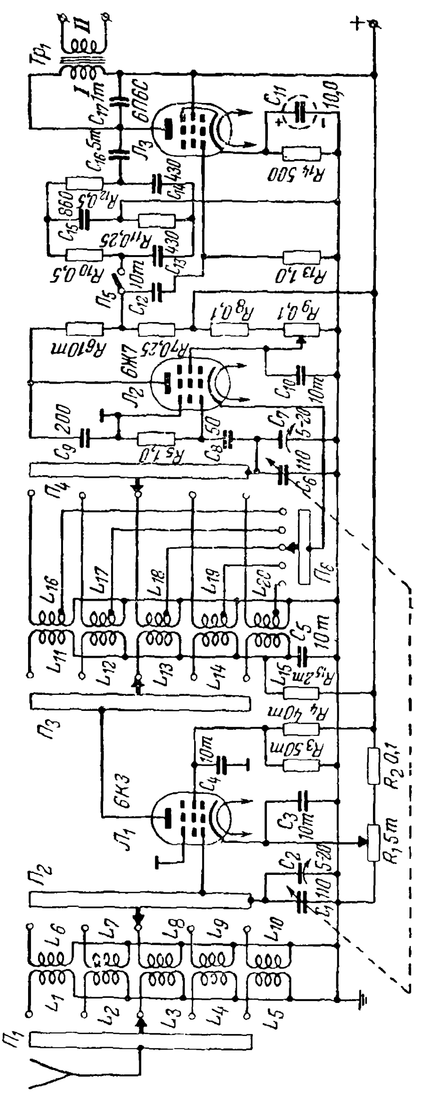
Налаживание приемника сводится к получению устойчивой генерации по всему диапазону частот, точной установке границ поддиапазонов и настройке в резонанс входных контуров. Удобнее всего выбрать следующий порядок настройки. Вначале проверить работу усилителя низкой частоты. Затем тщательно отрегулировать обратную связь так, чтобы генерация без щелчков плавно возникала и срывалась на всех диапазонах. Далее установить границы всех поддиапазонов, причем установку границ следует производить подбором витков катушек L_{16}, L_{18}, L_{20}, L_{22} и L_{24}. Наконец, перемещая крайние витки катушек L_6—L_{10}, нужно настроить входные контуры в резонанс с контурами усилителя высокой частоты.

Для питания анодных цепей приемника нужна батарея напряжением 60—120 *в*, а для цепей накала — один-два сухих элемента.

Сетевой 1-V-1. Схема приемника приведена на фиг. 54. Она мало отличается от рассмотренной выше схемы батарейного приемника 1-V-1, поэтому останавливаться на ней мы не будем. Диапазон волн приемника 10—200 *м*.

Контурные катушки этого приемника выполняются так же, как и в батарейном приемнике 1-V-1, с той лишь разницей, что здесь отсутствуют отдельные катушки обратной связи. Количества витков катушек и диаметр провода, которым они намотаны, приведены в табл. 8 (стр. 129).

Выходной трансформатор имеет сердечник сечением 4—5 $см^2$. Его первичная обмотка содержит 2 500 витков провода ПЭЛ 0,15. Вторичная обмотка для приема на головные телефоны имеет 1 250 витков провода ПЭЛ 0,1. В случае необходимости приема также и на динамик выходной



Фиг. 54. Принципиальная схема сетевого приемника 1-V-1.

Таблица 8

Диапазон волн, *м*	Катушки	Число витков	Отвод от витка	Провод	Длина намотки, *мм*	Катушка	Число витков	Катушка	Число витков
10—19	L_6 и L_{16}	4	1	ПЭЛ 1,0	8	L_1	3	L_{11}	4
19—34	L_7 и L_{17}	9	2	ПЭЛ 0,5	8	L_2	5	L_{12}	8
34—62	L_8 и L_{18}	20	4	ПЭЛ 0,3	10	L_3	7	L_{13}	12
62—112	L_9 и L_{19}	36	6	ПЭЛ 0,2	Вплотную	L_4	10	L_{14}	20
112—200	L_{10} и L_{20}	72	8	ПЭЛ 0,2	То же	L_5	12	L_{15}	30

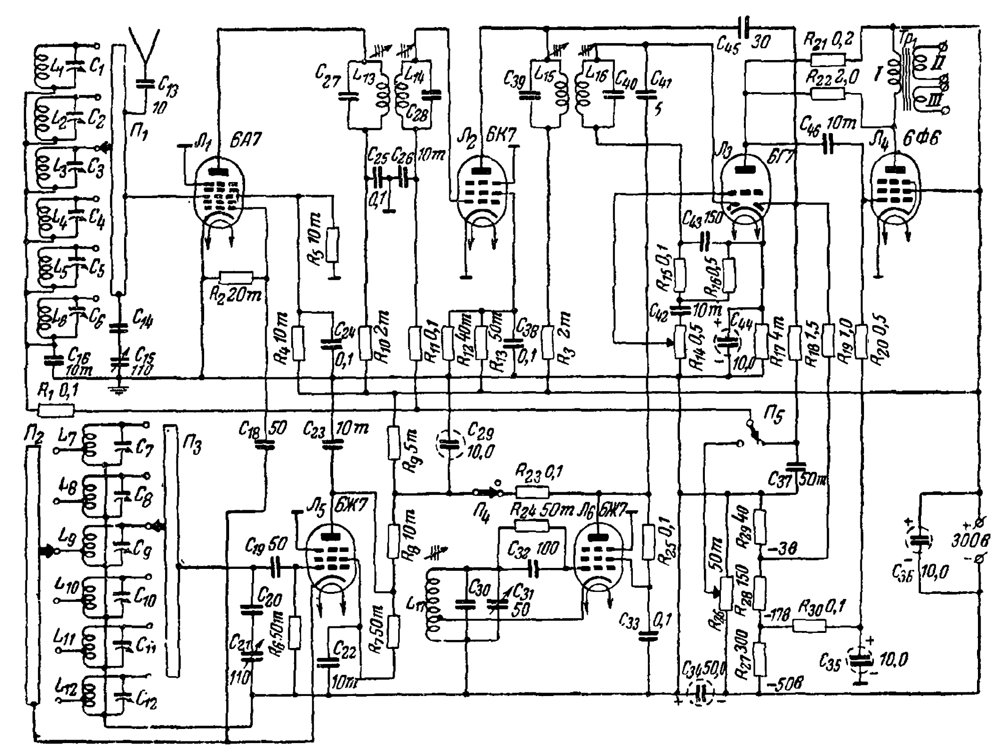
трансформатор следует дополнить третьей обмоткой, содержащей 56 витков провода ПЭЛ 0,8.

Для питания приемника нужен выпрямитель, дающий на выходе напряжение 220—250 *в* при токе 45 *ма*. Налаживание приемника производится в той же последовательности, в какой налаживается и батарейный 1-V-1.

Шестиламповый сетевой супергетеродин. Приемник предназначен для приема любительских коротковолновых радиостанций и имеет шесть растянутых любительских диапазонов: 29—30 *мггц*; 20,5—22 *мггц*; 13,7—14,7 *мггц*; 6,9—7,4 *мггц*; 3,45—3,7 *мггц* и 1,175—1,9 *мггц*. Однако поддиапазоны волн приемника легко могут быть изменены или диапазон может быть сделан непрерывным от 10 до 200 *м* без каких-либо дополнительных переделок лишь путем изменения емкостей подстроечных конденсаторов. Промежуточная частота равна 460 *кгц*.

Принципиальная схема приемника изображена на фиг. 55. Приемник содержит 5 ступеней: преобразователь с отдельным гетеродином, ступень усиления промежуточной частоты, диодный детектор и две ступени усиления низкой частоты. Кроме того, в приемнике имеется система АРУ, которая включается при приеме телефонных радиостанций, и второй гетеродин, необходимый для слухового приема телеграфных радиостанций, работающих незатухающими колебаниями.

Связь антенны с входными контурами для упрощения приемника сделана емкостной. Преобразователь частоты



Фиг. 55. Принципиальная схема сетевого шестилампового супергетеродина.

собран с отдельным гетеродином. В смесительной ступени работает гептод $Л_1$ типа 6А7 или 6А10С, а в ступени гетеродина — высокочастотный пентод $Л_5$ типа 6Ж7 (или 6Ж8). Отрицательное смещение на управляющую сетку смесительной лампы при включенной системе АРУ снимается с сопротивления R_{19}, а при ручной регулировке усиления — с потенциометра R_{26}. Напряжение на экранную сетку подается с делителя, состоящего из сопротивлений R_4 и R_5. В анодную цепь лампы включен двухконтурный полосовой фильтр $L_{13}C_{27}$, $L_{14}C_{28}$.

Настройка приемника осуществляется сдвоенным агрегатом конденсаторов переменной емкости C_{15} и C_{21}.

Установка верхних границ растянутых диапазонов производится подстроечными конденсаторами C_7—C_{12}. С помощью конденсаторов C_1—C_6 производится подстройка входных контуров на высшую частоту растянутых поддиапазонов. Все подстроечные конденсаторы должны быть такими, чтобы их емкости можно было изменять от 5 до 40—50 *мкмкф*. Емкости растягивающих конденсаторов C_{14} и C_{20} составляют 20—40 *мкмкф* и подбираются в зависимости от типа примененного агрегата конденсаторов переменной емкости.

Усилитель промежуточной частоты работает на лампе $Л_2$ типа 6К7 (или 6К3). Напряжение смещения на управляющую сетку лампы поступает от системы АРУ или ручной регулировки и подается через развязывающий фильтр, состоящий из сопротивления R_{11} и конденсатора C_{26}. Напряжение на экранную сетку снимается с делителя, состоящего из сопротивлений R_{12} и R_{13}.

В детекторной ступени используется диодная часть лампы $Л_3$ типа 6Г7 (или 6Г2). Нагрузкой детектора служат сопротивления R_{15} и R_{16}. Напряжение низкой частоты на управляющую сетку триодной части лампы $Л_3$ снимается с потенциометра R_{14}, который выполняет функцию регулятора громкости.

Второй гетеродин собран на высокочастотном пентоде $Л_6$ типа 6Ж7 (или 6Ж8) по схеме с катодной связью. Высокочастотное напряжение, снимаемое с сопротивления нагрузки лампы R_{23}, через конденсатор небольшой емкости C_{41} поступает на анод детектирующего диода. Частоту получаемых биений можно изменять с помощью конденсатора переменной емкости C_{31}.

В качестве выпрямителя АРУ используется правый диод лампы $Л_3$. Задерживающее напряжение подается двумя путями. Напряжение — 3 *в*, поступающее непосредственно на

анод диода через сопротивление нагрузки R_{19}, снимается с сопротивления R_{24} делителя напряжения, включенного в цепь «минуса» источника питания, и является одновременно начальным напряжением смещения для ламп $Л_1$ и $Л_2$. Кроме того, еще — 3 *в* поступает на анод диода за счет падения напряжения на сопротивлении R_{17}, включенном в цепь катода лампы. Таким образом, полное напряжение задержки составляет — 6 *в*. Система АРУ может отключаться переключателем $П_5$, включающим при этом в схему ручной регулятор усиления.

Выходная ступень приемника работает на лампе $Л_4$ типа 6Ф6 (или 6П6С). Напряжение на управляющую сетку этой лампы (—17 *в*) снимается с сопротивлений R_{28}, R_{29}. Для уменьшения частотных и нелинейных искажений эта ступень охвачена цепью отрицательной обратной связи. Делителем обратного напряжения являются сопротивления R_{21} и R_{22}. Сопротивление R_{21} служит одновременно и сопротивлением нагрузки триодной части лампы $Л_3$.

Большинство деталей приемника — заводские. Трансформаторы промежуточной частоты рассчитаны на частоту 460 *кгц* и могут быть применены любой конструкции. Для контура второго гетеродина используется один контур трансформатора промежуточной частоты, который монтируется в приемнике вместе с экраном. Так как контурная катушка трансформатора состоит обычно из четырех секций, то отвод на катод лампы гетеродина можно сделать от точки соединения первой и второй секций (считая от заземленного конца).

Контурные катушки приемника выполняются на керамических или каких-либо других каркасах из высококачественного диэлектрика и имеют диаметр 20 *мм*. Контурные катушки 160-метрового диапазона состоят из двух секций и намотаны по типу «универсаль» (или наматываются внавал между щечками из хорошего изоляционного материала). Остальные контурные катушки однослойные с принудительным шагом. Данные всех катушек приведены в табл. 9 (стр. 133).

Выходной трансформатор $Тр_1$ имеет сердечник сечением 4—5 *см*². Первичная обмотка трансформатора содержит 2 500 витков провода ПЭЛ 0,15—0,2, вторичная обмотка (для включения головных телефонов) состоит из 1 200 витков провода ПЭЛ 0,1 и третья обмотка (для включения 2,5—3-омного динамического громкоговорителя) имеет 56 витков провода ПЭЛ 0,8.

Таблица 9

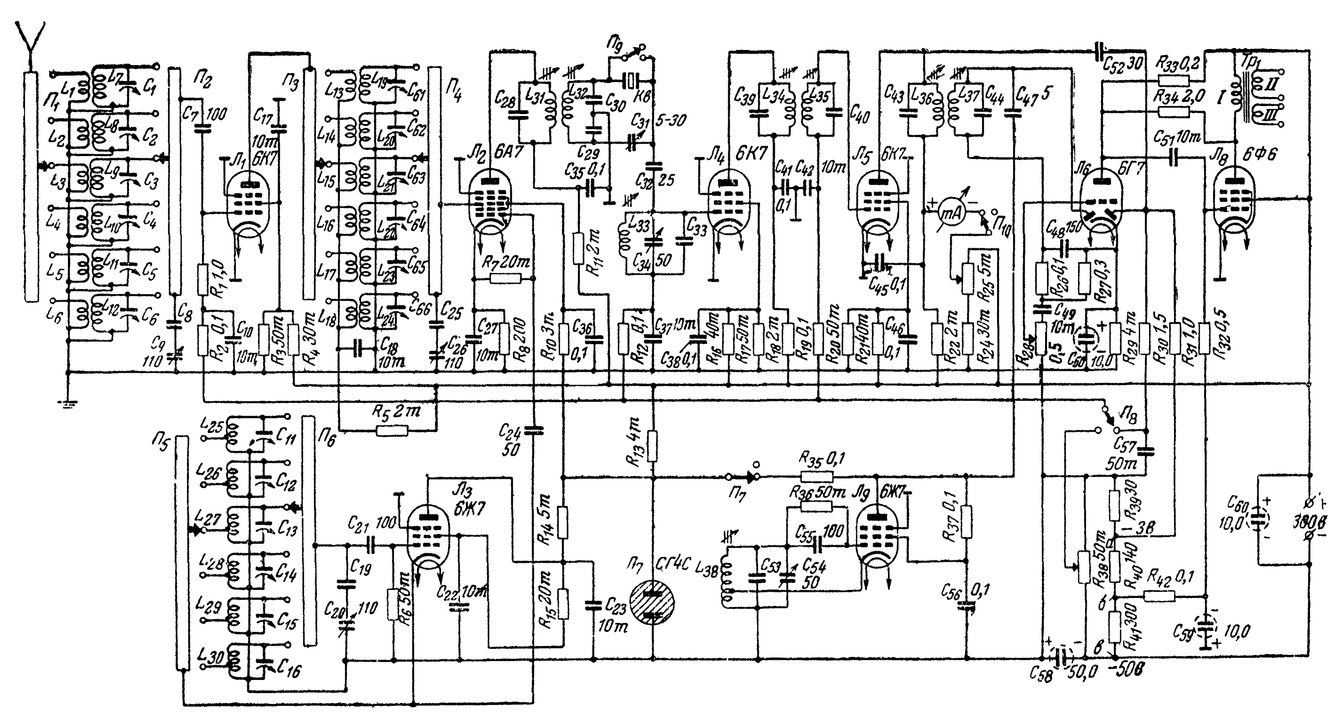
Диапазон волн, *м*	Контурные катушки	Число витков	Провод	Катушки гетеродина	Число витков	Отвод от витка	Провод
10	L_1	4	ПЭ 1,0	L_7	4	2	ПЭ 1,0
14	L_2	5	ПЭ 1,0	L_8	5	2	ПЭ 1,0
20	L_3	9	ПЭ 0,5	L_9	9	3	ПЭ 0,5
40	L_4	20	ПЭ 0,3	L_{10}	18	4	ПЭ 0,3
80	L_5	40	ПЭ 0,2	L_{11}	36	6	ПЭ 0,2
160	L_6	2×50	ПЭ 0,2	L_{12}	2×40	20	ПЭ 0,2

Данные всех сопротивлений и конденсаторов приведены на принципиальной схеме.

Приемник монтируется на металлическом шасси размерами 300 × 250 × 50 *мм*. Спереди к шасси прикрепляется передняя панель, вырезанная из 2—5-*мм* алюминия и имеющая размеры 300 × 20 *мм*. На эту панель выводятся все ручки управления приемником, а именно: агрегата конденсаторов настройки, переключателя диапазонов, ручной регулировки усиления, регулировки громкости, включения и выключения АРУ, подстройки частоты второго гетеродина, включения и выключения второго гетеродина.

Налаживание приемника следует начинать с низкочастотной части. Затем с помощью генератора стандартных сигналов настраиваются на частоту 460 *кгц* трансформаторы промежуточной частоты. Далее при минимальной емкости агрегата конденсаторов настройки изменением емкости подстроечных конденсаторов C_7 — C_{12} устанавливают верхние границы всех растянутых диапазонов. Наконец, с помощью подстроечных конденсаторов C_1 — C_6 подстраивают входные контуры приемника.

Девятиламповый сетевой супергетеродин. Описываемый приемник предназначен для работы на любительских коротковолновых радиостанциях. В соответствии с этим он имеет те же шесть растянутых поддиапазонов, что и описанный



Фиг. 56. Принципиальная схема сетевого 9-лампового супергетеродина.

выше шестиламповый супергетеродин. Промежуточная частота равна 460 *кгц*.

Принципиальная схема приемника приведена на фиг. 56. Он содержит 7 ступеней: ступень усиления высокой частоты, преобразователь с отдельным гетеродином, две ступени усиления промежуточной частоты, диодный детектор и две ступени усиления низкой частоты. Кроме того, в приемнике имеются: система АРУ, которая включается при приеме телефонных радиостанций, второй гетеродин, необходимый для приема телеграфных радиостанций, работающих незатухающими колебаниями, и стрелочный индикатор настройки.

Связь антенны с входными контурами выбрана индуктивной. Усилитель высокой частоты собран по схеме с индуктивной связью и работает на лампе 6К7 (или 6К3). Напряжение на экранную сетку лампы снимается с делителя, состоящего из сопротивлений R_3 и R_4. Смещение на управляющую сетку поступает от системы АРУ или ручного регулятора усиления (сопротивление R_{38}) через развязывающий фильтр (состоящий из сопротивления R_2 и конденсатора C_{10}) и сопротивление утечки R_1.

Преобразователь частоты собран по схеме с отдельным гетеродином. В смесительной ступени используется лампа $Л_2$ типа 6А7 (или 6А10С), а в ступени гетеродина — лампа $Л_3$ типа 6Ж7 (или 6Ж8). Напряжение на экранной сетке смесительной лампы, а также на аноде и экранной сетке лампы гетеродина стабилизовано газовым стабилизатором напряжения типа СГ4С ($Л_7$). Смещение на управляющую сетку смесительной лампы, равное — 2 *в*, снимается с сопротивления R_8, на котором оно образуется в результате падения напряжения от проходящего через него анодного тока лампы $Л_2$. В целях повышения устойчивости работы приемника преобразовательная ступень не охватывается ни цепью АРУ, ни цепью ручной регулировки усиления. В анодную цепь лампы $Л_2$ включен трехконтурный кварцевый фильтр с резонансной частотой 460 *кгц*. Балансировка кварца осуществляется конденсатором C_{31}, а регулировка полосы пропускания — конденсатором C_{33}. С помощью переключателя $П_9$ кварцевый фильтр может выключаться.

Настройка приемника осуществляется строенным агрегатом конденсаторов переменной емкости C_9, C_{20} и C_{26}. Установка верхних границ растянутых диапазонов производится подстроечными конденсаторами C_1—C_6, C_{11}—C_{16} и C_{61}—C_{66}, имеющими максимальную емкость 40—50 *мкмкф*. Емкости растягивающих конденсаторов C_8, C_{19} и C_{25} состав-

ляют 20—40 *мкмкф* (подбираются в зависимости от типа примененного агрегата конденсаторов переменной емкости).

Усилитель промежуточной частоты работает на лампах $Л_4$ и $Л_5$ типа 6К7 (или 6К3). Напряжение смещения, поступающее от системы АРУ или ручной регулировки усиления на управляющую сетку лампы $Л_4$, подается через развязывающий фильтр $R_{12}C_{37}$, а на сетку лампы $Л_5$ — через развязывающий фильтр $R_{19}C_{42}$. Напряжение на экранную сетку лампы $Л_4$ снимается с делителя, состоящего из сопротивлений R_{16} и R_{17}, а на экранную сетку лампы $Л_5$ — с делителя из сопротивлений R_{20} и R_{21}. В анодную цепь лампы $Л_5$ включен стрелочный индикатор настройки *mA* (чувствительностью не более 2—3 *ма* на всю шкалу), который может отключаться выключателем $П_{10}$. С помощью потенциометра R_{25} устанавливается нулевое положение индикатора. Если стрелка индикатора во время работы будет уходить за шкалу, то его необходимо шунтировать сопротивлением.

В детекторной ступени используется левый (по схеме) диод лампы $Л_6$ типа 6Г7 (или 6Г2). Нагрузкой детектора служат сопротивления R_{26} и R_{27}. Напряжение низкой частоты на управляющую сетку триодной части лампы $Л_6$ снимается с потенциометра R_{28}, который является регулятором громкости.

Второй гетеродин собран на лампе $Л_9$ типа 6Ж7 (или 6Ж8) по схеме с катодной связью. Высокочастотное напряжение, снимаемое с сопротивления нагрузки лампы R_{35}, через конденсатор небольшой емкости C_{47} поступает на анод детектирующего диода. Частота получаемых биений может изменяться конденсатором переменной емкости C_{54}. Напряжение на аноде гетеродина стабилизовано.

В качестве выпрямителя АРУ используется правый (по схеме) диод лампы $Л_6$. Задерживающее отрицательное напряжение на его анод подается двумя путями, как и в предыдущей схеме.

Большинство деталей приемника — заводские. Трансформаторы промежуточной частоты могут быть любой конструкции. В качестве контура второго гетеродина используется, как и в шестиламповом супергетеродине, один из контуров трансформатора промежуточной частоты, второй контур которого вынимается из трансформатора и используется в качестве контура $L_{33}C_{33}C_{34}$ кварцевого фильтра. Этот контур вместе с кварцем, нейтрализующим конденсатором C_{31} и конденсатором регулировки полосы фильтра C_{34} помещается в отдельный алюминиевый экран.

Контурные катушки приемника выполняются на керамических или каких-либо других каркасах диаметром 20 *мм.* Катушки L_1—L_6 и L_{13}—L_{18} наматываются виток к витку проводом ПЭШО 0,1—0,15. Контурные катушки 160-метрового диапазона состоят из двух секций с намоткой типа «универсаль» или с намоткой внавал между двумя щечками из изоляционного материала. Ширина секций 3 *мм.* Остальные контурные катушки —однослойные с принудительным шагом. Данные всех катушек приведены в табл. 10.

Таблица 10

Диапазон волн, *м*	Контурные катушки	Число витков	Провод	Катушки гетеродина	Число витков	Отвод от витка	Провод	Катушки связи	Число витков	Катушки связи	Число витков
10	L_7 и L_{19}	4	ПЭ 1,0	L_{25}	4	2	ПЭ 1,0	L_1	3	L_{13}	4
14	L_8 и L_{20}	5	ПЭ 1,0	I_{26}	5	2	ПЭ 1,0	L_2	3	L_{14}	4
20	L_9 и L_{21}	9	ПЭ 0,5	L_{27}	9	3	ПЭ 0,5	L_3	5	L_{15}	8
40	L_{10} и L_{22}	20	ПЭ 0,3	L_{28}	18	4	ПЭ 0,3	L_4	7	L_{16}	12
80	L_{11} и I_{23}	40	ЦЭ 0,2	L_{29}	36	6	ПЭ 0,2	L_5	10	L_{17}	20
160	L_{12} и L_{24}	2×50	ПЭ 0,2	L_{80}	2×40	20	ПЭ 0,2	L_6	12	L_{18}	30

Выходной трансформатор такой же, как и в предыдущем приемнике.

Приемник монтируется на металлическом шасси размерами 400×250×50 *мм.* Спереди к шасси прикрепляется передняя панель из листового алюминия толщиной 2—5 *мм* и размерами 400×200 *мм.* На нее выводятся следующие ручки управления: конденсаторов настройки, переключателя диапазонов, ручной регулировки усиления, регулировки громкости, включения и выключения АРУ, включения второго гетеродина, регулировки тона биений, балансировки кварцевого фильтра, выключателя кварца, регулировки полосы пропускания и включения индикатора настройки. Для сокращения числа ручек приемника некоторые из них можно объединить на одной оси, например ручки включения второго гетеродина и регулировки тона биений, регулировки полосы пропускания и выключения кварца, включения системы АРУ и стрелочного индикатора настройки.

Налаживание приемника следует начать с низкочастотной части. Затем с помощью сигнал-генератора на резонансную частоту кварца настраиваются контуры трансформато-

ров промежуточной частоты. При отсутствии сигнал-генератора можно с имеющимся кварцем собрать простейший гетеродин или использовать для этой цели второй гетеродин приемника, включив кварц в его сеточную цепь вместо конденсатора C_{55}.

После того как трансформаторы промежуточной частоты будут настроены, следует с помощью подстроечных конденсаторов C_{11}—C_{16} при минимальной емкости агрегата конденсаторов переменной емкости установить высшую границу всех поддиапазонов, а затем, изменяя емкость конденсаторов C_1—C_6 и C_{61}—C_{66}, подстроить остальные контуры приемника.

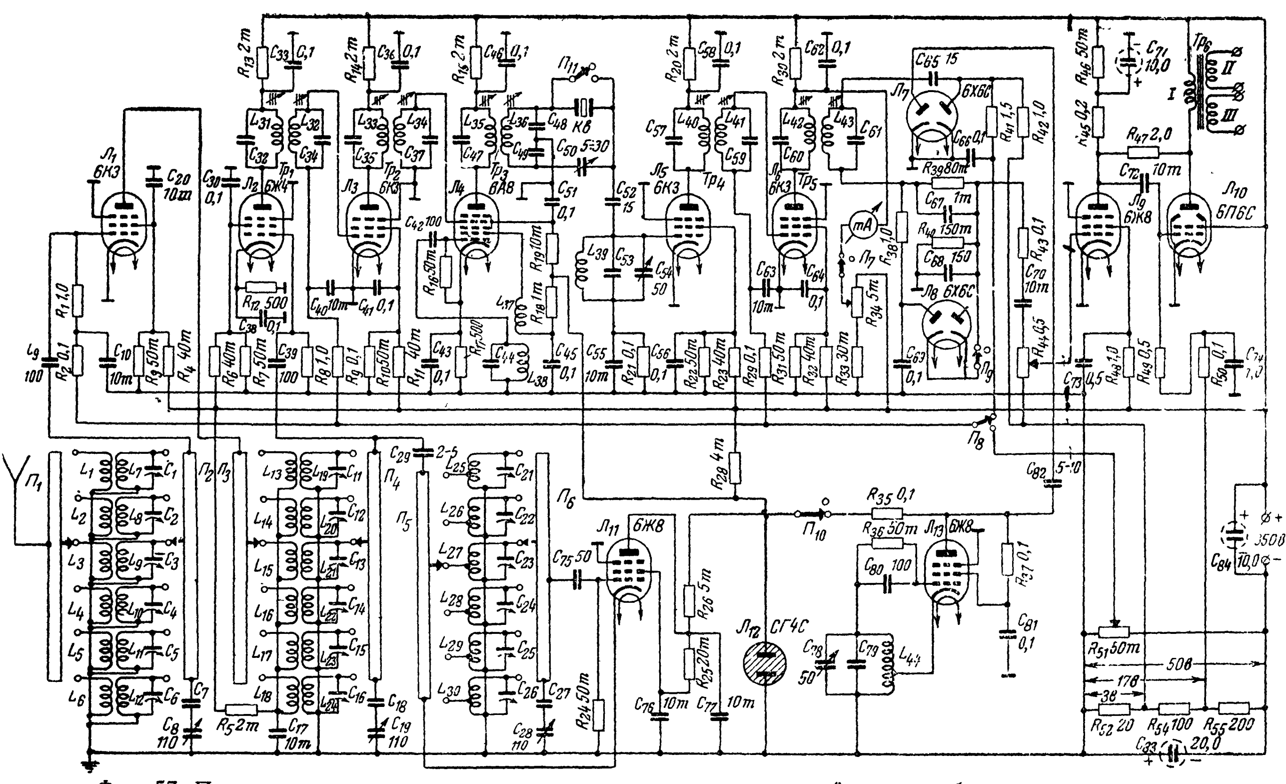
Далее необходимо подобрать сопротивления делителя напряжения R_{39}, R_{40} и R_{41} так, чтобы напряжения в точках *а*, *б* и *в* соответствовали указанным на схеме (фиг. 57).

Методы настройки кварцевого фильтра были подробно описаны в соответствующем разделе данной книги.

Супергетеродин с двойным преобразованием частоты. Этот приемник предназначен для работы на любительских коротковолновых радиостанциях и рассчитан на изготовление его опытным радиолюбителем-коротковолновиком. В соответствии со своим назначением приемник имеет шесть растянутых поддиапазонов: 28—30 *мггц;* 20,5—22 *мггц;* 13,7—14,7 *мггц*; 6,9—7,4 *мггц*; 1,175—2 *мггц*. Однако при необходимости поддиапазоны волн приемника легко могут быть изменены.

Принципиальная схема приемника изображена на фиг. 57. Он содержит 9 ступеней: ступень усиления высокой частоты, первый преобразователь с отдельным гетеродином, ступень усиления первой промежуточной частоты, второй преобразователь, две ступени усиления второй промежуточной частоты, детекторную ступень и две ступени усиления низкой частоты. Кроме того, в приемнике имеются: система АРУ, третий гетеродин для приема телеграфных радиостанций, эффективно действующий подавитель импульсных помех и стрелочный индикатор настройки.

Связь антенны с входными контурами — индуктивная. Усилитель высокой частоты собран по схеме с трансформаторной связью на лампе $Л_1$ типа 6К3 (или 6Ж4). Напряжение на экранную сетку лампы снимается с делителя, состоящего из сопротивлений R_3 и R_4. Смещение на управляющую сетку, поступающее от системы АРУ или ручного регулятора усиления (потенциометр R_{51}), подается через развязывающий фильтр R_2C_{10} и сопротивление утечки сетки R_1.



Фиг. 57. Принципиальная схема сетевого супергете родина с двойным преобразованием частоты.

Первый преобразователь частоты для уменьшения собственных шумов приемника собран по схеме односеточного преобразования. В смесителе работает лампа $Л_2$ типа 6Ж4 — высокочастотный пентод с высокой крутизной, а в гетеродине — лампа $Л_{11}$ типа 6Ж8 (или 6Ж7). Напряжение на экранную сетку смесительной лампы $Л_2$ снимается с делителя, состоящего из сопротивлений R_6 и R_7, а смещение на управляющую сетку этой лампы — с сопротивления R_{12}, включенного в цепь ее катода. Напряжение высокой частоты от гетеродина поступает на сетку преобразовательной лампы через конденсаторы C_{29} и C_{39}. Назначение сопротивления R_8 и конденсатора C_{39} состоит в том, чтобы предотвратить резкое понижение входного сопротивления лампы $Л_2$, которое происходит в результате появления сеточных токов. Последние возникают в тех случаях, когда высокочастотное напряжение, поступающее от гетеродина, становится больше напряжения смещения. Включение указанных выше конденсатора и сопротивления приводит к появлению дополнительного отрицательного смещения на управляющей сетке лампы, а следовательно, и к менее резкому возрастанию сеточного тока. Входное сопротивление лампы в этом случае оказывается равным примерно $^1/_3$ R_8.

Напряжение на аноде и экранной сетке лампы гетеродина стабилизовано лампой $Л_{12}$ типа СГ4С. Частота гетеродина выше частоты сигнала.

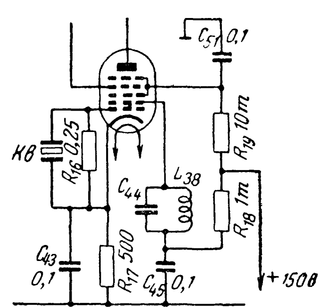
Первая промежуточная частота выбрана равной 1 600 *кгц*. В качестве трансформаторов первой промежуточной частоты $Тр_1$ и $Тр_2$ могут быть использованы трансформаторы, изготовленные по приведенному ранее описанию (фиг. 30,*а* и табл. 3).

Настройка приемника производится строенным агрегатом конденсаторов переменной емкости C_3, C_{19} и C_{28}. Установка верхних границ растянутых поддиапазонов осуществляется подстроечными конденсаторами C_{21}—C_{26} с максимальной емкостью 40—50 *мкмкф*, а подстройка остальных контуров на эти частоты — конденсаторами C_1—C_6 и C_{11}—C_{16} такой же емкости. Емкость растягивающих конденсаторов C_7, C_{18} и C_{27} составляет 20—40 *мкмкф* и подбирается практически в зависимости от типа примененного агрегата конденсаторов переменной емкости.

Усилитель первой промежуточной частоты работает на лампе $Л_3$ типа 6К3. Напряжение смещения на управляющую сетку этой лампы, поступающее от системы АРУ или

потенциометра R_{51}, подается через развязывающий фильтр R_9C_{40} и контурную катушку L_{32} трансформатора промежуточной частоты Tp_1. Напряжение на экранную сетку лампы $Л_3$ снимается с делителя напряжения, состоящего из сопротивлений R_{10} и R_{11}.

В ступени второго преобразователя частоты работает лампа $Л_4$ типа 6А8. Здесь может быть применена также лампа типа 6А7. Напряжение смещения на управляющую сетку гетеродинной части лампы подается автоматически в результате падения напряжения на сопротивлении утечки R_{16} за счет сеточного тока. Напряжение, подаваемое на анодную сетку гетеродина и экранную сетку лампы, стабилизовано. В целях повышения устойчивости работы приемника вторая преобразовательная ступень не охватывается ни цепью АРУ, ни цепью ручной регулировки усиления. Смещение на сигнальную сетку подается автоматически за счет падения напряжения на сопротивлении R_{17}, включенном в цепь катода лампы. Частота второго гетеродина, определяемая параметрами контура $L_{38}C_{44}$, должна быть равной 1 490 или 1 710 *кгц*.



Фиг. 58. Схема гетеродина с кварцевой стабилизацией частоты.

Несколько лучшая устойчивость частоты гетеродина второго преобразователя получается при использовании кварцевой стабилизации частоты. Схема гетеродинной части такого преобразователя частоты приведена на фиг. 58. В этом случае преобразовательную ступень можно включить в работу системы АРУ.

Вторая промежуточная частота выбрана равной 110 *кгц*. Трансформаторы второй промежуточной частоты могут быть любой конструкции. В анодную цепь лампы $Л_4$ включен трехконтурный кварцевый фильтр, резонансная частота которого равна 110 *кгц*. Балансировка фильтра осуществляется конденсатором переменной емкости C_{50}, а регулировка полосы пропускания — конденсатором C_{54}. С помощью выключателя $П_{11}$ кварц может выключаться из схемы. Если кварц на частоту 110 *кгц* приобрести не удастся, то придется изменить вторую промежуточную частоту в соответствии с резонансной частотой имеющегося кварца. Следует

иметь в виду, что при этом придется изменить также и частоту гетеродина второго преобразователя частоты.

Усилитель второй промежуточной частоты работает на лампах $Л_5$ и $Л_6$ типа 6К3. Напряжение смещения и регулирующее напряжение от системы АРУ поступают на управляющую сетку лампы $Л_5$ через развязывающий фильтр $R_{21}C_{55}$, а на сетку лампы $Л_6$ — через развязывающий фильтр $R_{29}C_{63}$. Напряжения на экранные сетки этих ламп поступают с делителей напряжения, состоящих соответственно из сопротивлений R_{22}, R_{23} и R_{31}, R_{32}. В анодную цепь лампы $Л_6$ включен стрелочный индикатор настройки *mA*, который может отключаться выключателем $П_7$. Установка индикатора на нуль осуществляется потенциометром R_{34}. В качестве прибора для индикатора может быть использован миллиамперметр чувствительностью 2—3 *ма* на всю шкалу.

В детекторной ступени используется левый диод лампы $Л_7$, а в качестве ограничителя импульсных помех с автоматически изменяющимся порогом ограничения — левый диод лампы $Л_8$. Выпрямителем системы АРУ с задержкой является правый диод лампы $Л_7$. Обе лампы $Л_7$ и $Л_8$ типа 6Х6С. Эта схема подробно рассматривалась в п. 9 гл. 2, и поэтому здесь мы на ней останавливаться более подробно не будем.

Третий гетеродин собран на лампе $Л_{13}$ типа 6Ж8 (или 6Ж7) по схеме с катодной связью. Частота биений может изменяться конденсатором переменной емкости C_{78}. С помощью выключателя $П_{10}$ в анодной цепи лампы третьего гетеродина последний при приеме телефонных радиостанций может выключаться. Напряжение на аноде гетеродина стабилизовано.

Схема усилителя низкой частоты обычная.

При желании несколько упростить схему приемника из него можно исключить подавитель импульсных помех. При этом детекторная ступень и первая ступень усиления низкой частоты приемника собираются на лампе 6Г7 по схеме фиг. 56.

Большинство деталей приемника заводские. Для контура третьего гетеродина, как и в предыдущем приемнике, используется один из контуров трансформатора промежуточной частоты на 110 *кгц*, а для контура второго гетеродина — один из контуров трансформатора промежуточной частоты на 1 600 *кгц*. Контур второго гетеродина настраивается на нужную частоту путем подбора емкости конденсатора C_{44} и с помощью магнетитового сердечника. В качестве емкости

C_{44} для получения высокой устойчивости генерируемой частоты следует использовать несколько параллельно включенных конденсаторов с различными температурными коэффициентами емкости. О выборе типов конденсаторов и соотношении емкостей подробно говорилось в гл. 2.

Катушка обратной связи L_{37} имеет 10—15 витков провода ПЭШО 0,15 и наматывается на расстоянии 2—4 *мм* от контурной катушки L_{38}.

В случае невозможности сделать отвод от катушки L_{44} на катод лампы третьего гетеродина можно намотать дополнительную катушку обратной связи. Она наматывается внавал между двумя щечками и должна содержать 50—60 витков провода ПЭШО 0,1—0,15.

Выходной трансформатор и все контурные катушки приемника, за исключением контуров гетеродина, такие же, как и в описанном выше сетевом девятиламповом супергетеродине (табл. 10). Числа витков контурных катушек первого гетеродина следующие: L_{25}—4; L_{26}—4,5; L_{27}—7,6; L_{28}—16; L_{29} — 28; L_{30} — 55. Отводы соответственно делаются от 2-го, 2-го, 3-го, 4-го, 6-го и 15-го витков.

Конструктивное оформление и налаживание приемника сходны с выполнением и налаживанием девятилампового супергетеродина.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 3 р. 30 к.